

REPUBLICA DE CHILE
COMISION NACIONAL DE RIEGO

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGIA DESTINADA A
OPTIMIZAR EL USO DEL RECURSO AGUA, CUANDO ESTE
ES ESCASO Y SU DISTRIBUCION INCIERTA.**

Jorge Arenas Charlín

SANTIAGO CHILE

1983

REPUBLICA DE CHILE
COMISION NACIONAL DE RIEGO

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGIA DESTINADA A
OPTIMIZAR EL USO DEL RECURSO AGUA, CUANDO ESTE
ES ESCASO Y SU DISTRIBUCION INCIERTA.**

Jorge Arenas Charlín

SANTIAGO · CHILE

1983

AGRADECIMIENTOS

Cualquiera sea la labor desempeñada y, cualquiera sean las condiciones de trabajo, uno siempre depende de la acción, directa o indirecta, de una cantidad importante de personas, las cuales, en mayor o menor medida, explican el resultado final obtenido.

Teniendo en cuenta los objetivos planteados por este trabajo y, el ámbito en el cual se desarrolló la memoria (tesis), queda de manifiesto la importancia del aporte que hicieron muchas personas y que permitió llevar a cabo esta empresa, la memoria.

Por lo anterior, a continuación agradezco a quienes, en mayor medida, permitieron desarrollar este trabajo y alcanzar los objetivos planteados:

- A los profesores guía de esta memoria, Ingenieros Agrónomos José Pistono A. y Edmundo Acevedo H., ya que su ayuda y consejos fueron los indicadores que, principalmente, definieron los resultados alcanzados.
- Al Sr. Antonio Rustom, Profesor que fue la persona que me enseñó los primeros pasos en el manejo del computador. Su ayuda y paciencia hicieron posible, en resumidas cuentas, el proceso de materialización de las ideas en programas de computación.
- Un aspecto fundamental, tanto para el desarrollo como para el funcionamiento del modelo, ha sido el apoyo bibliográfico, el cual tuvo como fuente principal a la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile. Debo agradecer a todo el personal que trabaja en esta biblioteca, ya que de él sólo obtuve colaboración y estímulo. Este agradecimiento lo explico en la persona de la Sra. Edi Orellana y del

Sr. Juan Jara, quienes fueron los que más sufrieron por satisfacer mis necesidades bibliográficas.

- Al Departamento de Desarrollo Rural de la Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile, por permitirme el acceso a la computación.
- Al Ingeniero Civil Sr. Mauricio Vásquez, por la importante y desinteresada ayuda prestada, ayuda que de no haber existido, un incierto camino habría sido planteado a este trabajo.
- Al Sr. Hugo Inostroza, por su actitud siempre positiva para colaborar en la solución de problemas relacionados con las actividades relacionadas con el proceso de desarrollo de la parte computacional de esta memoria.
- A la Comisión Nacional de Riego, por su ayuda en la parte impresión de esta memoria.
- Por último, aunque no al último, le debo agradecer a la muchachada que celebra su día el 14 de agosto, ya que las actividades desarrolladas junto a ella fueron el necesario descanso dentro de los exhaustivos requerimientos planteados durante el desarrollo de este trabajo.

INDICE

	Págs.
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1 Sistemas	5
2.1.1 Modelo	6
2.2 Diseño de sistemas	6
2.3 Optimización	8
2.4 Toma de decisiones	9
2.4.1 Programación lineal	16
2.4.1.1 Partes de un modelo de programación lineal	17
2.4.1.2 Solución al programa	17
2.5 Optimización en el agro	19
3. MATERIALES Y METODOS	22
3.1 Materiales	22
3.1.1 Area de trabajo	22
3.1.2 Unidad de trabajo	23
3.1.3 Cultivos y métodos de riego	24
3.1.4 Elementos de computación	25
3.1.5 Coeficientes del modelo de programa ción lineal	26
3.1.5.1 Coeficientes de la función objetivo	26
3.1.5.2 Restricciones	29
3.1.6 Fuentes de la información	31
3.1.7 Modelo	32
4. MODELO	33
4.1 Escasez e incertidumbre	37
4.2 Funcionamiento del modelo	39

4.2.1	Interfase (INT)	40
4.2.1.1	Subrutina Ordena	42
4.2.1.2	Subrutina Cuadra	42
4.2.1.3	Subrutina PL	43
4.2.1.4	Subrutina Kadena	43
4.2.2	Modelo de programación lineal	43
4.2.2.1	Entradas del MPL	44
4.2.2.2	Salidas del MPL	46
4.2.3	Modelo de toma de decisiones (MTD) ..	47
4.2.3.1	Rutina RIEGOP	50
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .	52
5.1	Datos introductorios	53
5.2	Superficies óptimas	54
5.3	Menor disponibilidad de agua que la pronosticada	58
5.4	Superficies óptimas (mayo-septiembre) .	60
5.5	Requerimientos hídricos por estado y por mes	62
5.6	Tasas de riego	65
5.6.1	Requerimientos hídricos por estado, mes y cultivo	65
5.7	Calendario de riegos	65
5.8	Retornos económicos generados por el modelo	70
5.9	Análisis de sensibilidad	76
5.9.1	Valor dual del agua	76
5.9.2	Análisis de la escasez hídrica	77
5.9.3	Variación de los precios de venta ...	78
6.	CONCLUSIONES	82

7. RESUMEN	83
7.1 Summary	84
8. BIBLIOGRAFIA	86
APENDICE I	95
APENDICE II	134

1. INTRODUCCION

"Estamos llegando a la conclusión de que la tierra es una nave espacial que cuenta con recursos estrictamente limitados" (59,p 20). En efecto, un problema crucial que enfrenta la humanidad es el rápido agotamiento de sus recursos naturales. Lo anterior implica la necesidad de que, en un plazo relativamente corto (50 - 100 años), deban realizarse cambios **drásticos en las** tecnologías de extracción y en las de producción y, en las características del comportamiento humano social e individual. En el corto plazo, la estrategia por seguir es la de aumentar la eficiencia y racionalidad en el uso de los recursos.

A través de la historia, la existencia de comunidades humanas siempre estuvo ligada a una fuente de agua dulce.El crecimiento demográfico ha producido un aumento en la demanda por agua.

Las fuentes de agua dulce, aun cuando son muy grandes, presentan una distribución muy irregular en la superficie del planeta, fijándose así un horizonte de máxima expansión para las actividades del hombre en los sectores en los cuales el recurso es escaso. En las zonas donde este horizonte es una realidad tangible, la actividad humana no puede expandirse aprovechando nuevas fuentes de agua, sino que debe aumentar la eficiencia de su uso. La afirmación anterior queda de manifiesto si se indica que el agua es, posiblemente, el único

de los recursos naturales que no tiene un reemplazante, por lo cual, su cota de máxima disponibilidad es un límite definitivo de expansión para cualquier actividad.

Las zonas agrícolas bajo riego son, cuantitativamente hablando, uno de los principales, sino el principal, de los demandantes de agua, siendo, posiblemente, el uso que tiene la menor eficiencia. Lo crítico de la situación anterior se plantea en forma dramática en donde la escasez de agua es una limitante para la expansión de la actividad humana del lugar. Tal como se dijo anteriormente, para una situación como la planteada, el único camino que permite incrementar el nivel de actividad es el mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua.

El hecho que la máxima eficiencia posible no sea o no pueda ser alcanzada, está fundamentado en la existencia de una serie de restricciones de orden técnico, económico, social, educacional, cultural y ambiental. La capacidad de obtener el uso más racional, para el recurso en cuestión, dependerá de que las decisiones sobre las acciones por seguir sean consecuentes con las restricciones que definen el problema.

En este trabajo, mediante el uso de un modelo computacional, se simula el proceso de toma de decisiones que debiera tener un agricultor cuya principal limitante es la disponibilidad de agua para el riego, definiéndose los siguientes objetivos:

a) establecer una metodología que le permita al agri

cultor tener un apoyo en el proceso de toma de de
cisiones sobre qué, cuánto y cómo producir. La to
ma de decisiones estará enmarcada por un ambiente
en el cual el agua es un recurso escaso y en donde,
a través de los años, la distribución de los cauda
les disponibles para el riego se comporta en forma
aleatoria, y

- b) determinar cual es el valor asignado a este recurso escaso dentro del esquema productivo.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Al observar y analizar un proceso, es normal disponer de un gran flujo de información proveniente de él. Para sacar provecho de estas observaciones es necesario, en primer lugar, eliminar todo aquello que **entorpezca el análisis y, seguidamente, ordenar el resto** de acuerdo a criterios, esquemas o concepciones que permitan obtener alguna conclusión del proceso bajo estudio. Lo dicho anteriormente ha sido enfatizado por White y Wilson (68,p 17) que expresa: "En cuanto humanos, pertenecemos a ese componente de la naturaleza dado a organizar y estructurar: no sólo nos organizamos físicamente a nosotros mismos y organizamos nuestro medio, sino que también lo hacemos con nuestras percepciones del mundo físico, convirtiéndolas en estructuras abstractas; y cuando proyectamos otra vez tales estructuras sobre dicho mundo, su utilidad nos lleva a sospechar que reflejan, en cierta medida, una estructura datada de cierta existencia independiente".

Estas estructuras, serían el primer enfrentamiento conceptual para un problema. Ferrater (32,p 151) define a las estructuras como "...conjunto de elementos solidarios entre sí, o cuyas partes son funciones unas de otras. La estructura es función de sistemas relacionados; la estructura común de dos o mas de estos sistemas equivale a la referencia de cada uno de los "elementos" de un sistema con cada uno de otro u otros".

La descripción de estructura lleva en sí un segundo nivel de aproximación para un problema, éste es el de sistema o grupo de sistemas.

2.1 Sistemas

Maynard (52) define a un sistema como un grupo, serie o conjunto de componentes naturales o artificiales que forman un todo conexo o complejo. Un sistema, es un conjunto de entradas (insumos) y componentes que tienen una estructura que los conecta, la cual consiste en procesos y componentes interrelacionados, definidos todos ellos dentro de límites determinados (62).

El sistema es el nivel de estudio más apropiado para muchos procesos en los cuales sus partes presentan múltiples interacciones y que, por lo tanto, un estudio desagregado de ellas no entrega una comprensión del todo y, quizás, tampoco de las partes por sí solas. Es por lo anterior que el Instituto de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA) (42) señala que la razón básica para reconocer y estudiar los sistemas es que no se puede comprender completamente un solo componente a menos que sea ubicado en el ámbito del sistema en el cual opera.

Al trabajar con sistemas, puede ocurrir que la magnitud de éste sea tal, que un estudio completo de él sea muy difícil, costoso y, quizás, poco trascendente.

Por lo tanto, será más provechoso trabajar con una abstracción que contenga los elementos fundamentales del sistema, es decir, con un modelo del mismo.

2.1.1 Modelo

Wagner (67) define a un modelo como algo básicamente aproximado. Gordon (36) lo describe como a un conjunto de antecedentes sobre el sistema, obtenidos con el objeto de estudiarlo, es decir, está en función del interés que motiva al estudio.

Básicamente, dos son los aspectos más notorios de un modelo; en primer lugar, está el de la representación y, en segundo, están los antecedentes relevantes del sistema. El primer aspecto está relacionado con el comportamiento y, el segundo, con la composición del sistema. La forma como estos dos aspectos son enfrentados para desarrollar un modelo, es fundamental para la representatividad y relevancia del mismo. Teniendo en cuenta el problema anterior IICA (42,p 12) dice: "Después de todo, si un modelo fuera una réplica exacta de la realidad, completo y preciso en cada detalle, no ayudaría a comprender el problema real, porque presentaría las mismas dificultades que ésta para su estudio".

2.2 Diseño de sistemas

Los sistemas, por ser reflejo de realidades dinámicas

micas, deben tener un diseño que también lo sea. El proceso de adaptación del diseño a nuevas condiciones, debe corresponder a uno de retroalimentación, el cual, en cada ocasión, va cambiando todas aquellas partes que ya no representan a la realidad, manteniendo al resto intacto.

Guillamaud (39) define al proceso de retroalimentación como aquel en el cual las salidas influyen en el comportamiento futuro del modelo. IICA (42) lo define como a un proceso que regula la tasa a través de un nivel que sigue a esta tasa, implicando esto que el contenido del nivel determina la tasa de flujo, formándose un proceso cíclico, en el cual, a su vez, la tasa determina el contenido del nivel, y así sucesivamente.

No hay una regla general que diga como diseñar sistemas, el producto final dependerá del propio diseñador, de su habilidad, experiencia, conocimiento y arte con el cual enfrente el sistema bajo diseño. Sin embargo, existe una metodología definida por Maynard (52) y que establece los siguientes pasos:

- a) describir el sistema y determinar los factores de influencia;
- b) evaluar cuantitativamente los factores de influencia;
- c) reducir los factores a sólo los esenciales;
- d) preparar instrucciones para simular el flujo;
- e) ordenamiento de los datos de salida;
- f) comprobar la seguridad del programa. En este punto

hay que formular dos preguntas:

- ¿ Se aproxima lo suficiente el modelo a la realidad como para que la dirección pueda fiarse de decisiones basadas en su utilización ?, y
- ¿ Cuánto debe durar la simulación, para que ésta produzca resultados de salidas estables ?

2.3 Optimización

Una vez que se dispone de un modelo que ha sido validado, el paso siguiente es el aprovechamiento de las salidas de éste. El modelo, por tener, por definición, características ideales, generará una serie de salidas, las que serán las ideales para las condiciones planteadas.

Las técnicas que permiten hacer funcionar al modelo y, por lo tanto, producir las salidas que serán las óptimas para las condiciones planteadas son llamadas, por lo tanto, técnicas de optimización. El número de estas técnicas es muy amplio y su grado de dificultad va desde simples operaciones matemáticas hasta complicados algoritmos computacionales.

Gottfried y Weissman (38) señalan que no hay un procedimiento de optimización que sea claramente superior a otro en todas las situaciones, el procedimiento de optimización más útil depende, principalmente, del problema planteado.

Un punto importante relacionado con los resultata

dos de un modelo, es que éstos no provienen de la realidad, sino que de una aproximación de ella, debiendo, por lo tanto, tenerse cuidado al utilizarlos.

Wagner (67) indica que el principal objetivo de un modelo no es el de predecir, sino que el de entregar el conjunto más favorable de decisiones, optándose por aquella más adecuada para las condiciones imperantes en ese momento.

2.4 Toma de decisiones

Este es el siguiente paso lógico, una vez que el modelo ya ha sido hecho funcionar y ha entregado sus resultados. Este paso consiste en tomar la decisión final.

Espíldora y Arrau (29) definen a la toma de decisiones como a una técnica de evaluación para escoger de entre varias posibilidades, la que sea óptima para un cierto criterio de selección basado en las consecuencias de las posibilidades.

Uris (65) expresa que el hecho de tomar una decisión no representa el cien por ciento que produce una solución perfecta.

Un factor importante para la toma de decisiones, es el ambiente de certidumbre en el cual ocurre el proceso. Dependiendo del ambiente de certidumbre, Espíld

dora y Arrau (29) consideran tres casos:

- a) toma de decisiones en ambiente de certidumbre; corresponde al caso en el cual se conocen los resultados o consecuencias de cada posibilidad en forma determinística;
- b) toma de decisiones en ambiente de riesgo; en este caso, las posibilidades se enfrentan a condiciones no determinísticas, es decir, para cada posibilidad pueden ocurrir diferentes consecuencias que tienen una probabilidad de ocurrencia determinada y conocida, y
- c) toma de decisiones en ambiente de incertidumbre; corresponde al caso en el cual no se conocen las posibles consecuencias, pero se supone que se pueden estimar de acuerdo a un tratamiento estadístico adecuado.

La forma de enfrentar cada uno de los ambientes es analizada por Schlaiffer (60,p 20) que dice: "Cuando todas las variables que inciden en una decisión son conocidas, la única forma por la cual se toma la decisión es por medio del pensamiento exacto.

Pero cuando no todos los factores relevantes son conocidos, es imposible estar seguro que todas las decisiones tendrán el mismo grado de exactitud. Los antecedentes previos, ponen a la persona que decide en una situación en la cual debe tomar una decisión esperando ganar, pero sabiendo que puede perder. En estas circunstancias, una decisión correcta consiste en la elección del mejor pronóstico, aunque se pierda o gane des

prueba estadística, utilizando los datos de la muestra. Si este valor está dentro de la zona de rechazo, la decisión consiste en rechazar la H_0 : si el valor cae fuera de la zona de rechazo la decisión será que H_0 no puede rechazarse para el nivel de significación elegido.

El enfoque bayesiano es definido por Dean (24) que señala que este enfoque establece un mecanismo de conexión entre la inferencia estadística y las decisiones de orden práctico. Este enfoque fundamenta su funcionamiento en la utilización de dos tipos de evidencia; la empírica, entregada por la estadística clásica y, la subjetiva, la cual está definida por el grado de seguridad o credibilidad que un individuo tiene de un evento particular. La función que cumple la incorporación de este último tipo de evidencia, la subjetiva, es la de introducir al proceso de análisis a una serie de antecedentes relevantes que permiten una visión mas amplia del ambiente en el cual se desarrolla el proceso.

Otro aspecto destacado del enfoque bayesiano, es que mediante el uso de funciones de riesgo esperado se toman en cuenta las consecuencias que tendrán varias posibles decisiones y, además, utiliza la maximización de la ganancia esperada como una guía para la toma de decisiones (25).

Dillon (25) define las siguientes ventajas que ha

cen a la estadística bayesiana una herramienta más útil que la estadística clásica para la toma de decisiones:

- a) En la mayoría de los casos a los cuales se enfrentan tanto el investigador como los trabajadores del agro, es posible determinar una función de riesgo esperado, cuando se usa el enfoque bayesiano, basándose lo anterior en el costo de oportunidad de las posibles decisiones. Debido que a los agricultores les interesa el resultado económico de incorporar nuevas o diferentes tecnologías, las funciones de riesgo son esenciales para un análisis completo que lleve a una decisión;
- b) En la investigación básica, es usualmente imposible determinar una función de riesgo. En estos casos, antes que describir una hipótesis como significativamente o no de otra, para un nivel de significación arbitrario, es más útil el resumir la información colectada en parámetros adecuados. A continuación, los parámetros estadísticos anteriormente determinados, se pueden usar con estadísticas subjetivas determinadas por el interesado y, posteriormente, derivar las probabilidades relevantes para este problema de decisión;
- c) debido a que en la agricultura la investigación de campo es, generalmente, muy cara, las decisiones, a menudo, tienen que tomarse con información empírica reducida. En estos casos, el uso bayesiano de las probabilidades subjetivas llevará a mejores decisiones, ya que se provee de un mecanismo para tomar en cuenta la información no experimental más relevante;

- d) la forma en la cual el enfoque bayesiano evalúa los beneficios de coleccionar información adicional, es superior al análisis clásico. Para buscar la información adicional, el enfoque clásico sólo se concentra en la varianza de los estimadores, ignorando la estimación económica;
- e) debido a que el enfoque bayesiano reconoce los aspectos empíricos de los problemas hipótesis-pruebas, debe ser juzgado como más útil que el análisis clásico, el cual deja tales problemas a un nivel de inferencia estadística, fracasando por completo al tratar de lograr el paso de la inferencia a la decisión. Más aún, el enfoque clásico, al no reconocer el papel de las probabilidades subjetivas, ignora información que es pertinente para cualquiera inferencia inductiva obtenida de los análisis.

Un aspecto que debe tenerse en cuenta en el proceso de toma de decisiones, es que cuando se analizan los resultados de un modelo, éstos, por sí solos, no indican nada, teniendo un significado cuando son integrados a un contexto más amplio, contexto que puede estar definido por una teoría, un criterio o la experiencia. Reafirmando lo anterior, Baumol (4) señala que los resultados de un modelo nunca dirán, aislados, nada acerca del funcionamiento de parte alguna de un proceso, como podría ser el económico. Los resultados del programa sólo pueden ayudar a encontrar las implicaciones de la información económica que se tiene o que se está dispuesto a dar por supuesta.

Es, por lo tanto, fundamental que los resultados de la optimización estén insertos en algo más general, en algo que les de coherencia y sentido.

A nivel de la empresa, el análisis marginal de los resultados, entrega un camino por seguir en lo referente al análisis y toma de decisiones a partir de los resultados de un proceso productivo.

Ferguson (31), a partir del análisis de la función de producción de una empresa, que pertenece a una industria en competencia perfecta, determina que ésta alcanza su máximo beneficio, en el corto plazo, en el nivel de producción en el cual el costo marginal es igual al precio del producto. La igualdad del precio y del costo marginal garantiza que el beneficio está en el nivel máximo o la pérdida en el nivel mínimo. Pero, para que el análisis marginal pueda ser llevado a buen término, se necesita abundante información y divisibilidad de los factores productivos, condiciones que pueden transformarse en una importante, a veces insoluble, traba.

Boulding y Spivey (6) señalan que el análisis marginal provee de una línea de acción sólo bajo condiciones de conocimiento total, lo que difícilmente ocurre en la práctica. Para solucionar este problema, los autores recién nombrados, utilizan programación lineal, la cual divide el problema total en problemas más pequeños, los cuales poseen una dimensión tal, que pueden ser resueltos con la información disponible.

2.4.1 Programación lineal

Mancilla (51) describe a la programación lineal como a una metodología matemática ampliamente usada en la solución de problemas que consideran una función que debe ser optimizada. Al hacerlo, respeta, estrictamente, una serie de restricciones que deben satisfacer las variables consideradas en la función a optimizar (función objetivo).

Según Gottfried y Weissman (38), dos son las principales ventajas de esta metodología. En primer lugar, la programación lineal puede aplicarse a problemas muy especializados, como es el establecer superficies de respuesta para experiencias científicas o problemas muy generales como es el control y análisis de una economía nacional; en segundo lugar, ellos enfatizan que la simplicidad de los modelos de programación lineal ha hecho posible el análisis completo de los problemas, lo cual ha resultado en algoritmos computacionales altamente eficientes.

2.4.1.1 Partes de un modelo de programación lineal.

Dorfman (26) describe las partes de un modelo de programación lineal, de la siguiente manera:

- a) Función objetivo. Es aquel vector que será maximizado o minimizado.
- b) Restricciones. Son ecuaciones que impiden que la función objetivo se haga infinitamente pequeña o grande.

- c) VARIABLES DE ELECCIÓN. Son aquellas que se han de elegir para maximizar (o minimizar) la función objetivo y satisfacer todas las restricciones.
- d) CONDICIÓN DE NO NEGATIVIDAD. Mediante esta imposición, se obliga a la computadora a dar una solución (si es que existe) en el cuadrante positivo.

2.4.1.2 SOLUCIÓN AL PROGRAMA. El algoritmo computacional denominado método Simplex, permite encontrar el valor óptimo del programa para la función objetivo planteada y que estará comprendido en la región delimitada por las restricciones correspondientes.

- Método Simplex. Boulding y Spivey (6) señalan que el método Simplex consiste, fundamentalmente, en una serie de operaciones que mueven la función objetivo desde un punto extremo del conjunto convexo de soluciones posibles a un punto extremo adyacente que mejore en un cierto valor la función objetivo. Si la solución óptima existe, la técnica mueve la función lineal al punto extremo más lejano al origen (o al punto extremo más cercano al origen en un problema de minimización), produciendo, en este punto, un máximo (mínimo) para la función objetivo.

Cuando se encuentra el valor que optimiza la función objetivo, se está también optimizando el valor de la función opuesta. Es decir, si la función objetivo busca la maximización, el valor adjunto será la minimización. Al valor adjunto encontrado se le llama valor o solución dual.

- Solución dual. Esta solución adjunta a la solución principal o primal, presenta muchas características que la hacen, por sí sola, importante.

Wagner (67) define las siguientes equivalencias entre la solución primal y la dual:

<u>Primal (maximización)</u>	<u>Dual (minimización)</u>
Función objetivo	Lados derechos (RHS)
RHS	Función objetivo
Columna j de coeficientes	Fila j de coeficientes
Fila i de coeficientes	Columna i de coeficientes
Variable j no negativa	Relación j una desigualdad (\geq)
Variable j no restringida en signo	Relación j una igualdad
Relación i una desigualdad (\leq)	Variable i no negativa
Relación i una igualdad	Variable i no restringida en signo

Una de las características más importantes de la solución dual es la enunciada por Gottfried y Weissman (37) y por Majluf (50). Esta característica hace que la solución dual sea, algunas veces, más eficiente en la solución del problema que la solución primal. Lo anterior se manifiesta cuando el número de restricciones es mayor que el número de variables.

Pero, la característica más importante de la solución dual, cuando se realiza un análisis económico, es la enunciada por Dorfman (26) y por Wagner (67), quienes

señalan que cuando el problema definido es de asignación, el valor del mismo va inseparablemente ligado al de valoración de los recursos, lo cual es entregado por la solución dual. La valoración de los recursos es un antecedente importantísimo y que sirve de apoyo al proceso de toma de decisiones.

2.5 Optimización en el agro

Desde el comienzo mismo, hasta que el producto final llega al consumidor, múltiples son los problemas que sufre el proceso productivo agrícola. Problemas que se desarrollan en el espacio y el tiempo y, que transforma en algo muy complicado y, tal vez, imposible el desarrollo de un modelo que contenga el 100% de los problemas. Lo razonable es que los modelos contengan uno o un par de problemas que expliquen en gran medida las restricciones que sufre el proceso productivo. Además, debido al tamaño del proceso productivo, es conveniente dividirlo en unidades homogéneas y diferenciables unas de otras.

Para el problema definido y analizado en este trabajo, la disponibilidad de agua es la restricción que permite explicar una parte importante de la problemática de la producción agrícola. No menos importante es la restricción derivada del desconocimiento de la disponibilidad real del recurso escaso, agua, con la cual se contará durante el período siguiente.

Son múltiples los trabajos que tocan el problema del uso eficiente del recurso agua. Se ha utilizado programación lineal, programación dinámica, programación no lineal, etc.

Algunos de los trabajos más importantes y significativos para el modelo que se desarrolla en esta memoria, son los nombrados a continuación.

Moore (55) define una relación entre el crecimiento de las plantas y los valores promedio de "stress" hídrico. A partir de los anterior, define una función que permite calcular, para cada ciclo de riego, la cantidad de agua necesaria para regar un cultivo determinado y que maximizará el ingreso.

Blank (5) trata de determinar que cultivo, mezcla de éstos o qué métodos de producción aprovecharán de mejor manera los recursos limitados existentes, obteniendo el mayor retorno neto posible. Para lograr lo anterior, diseñó un modelo de programación lineal en el cual se maximiza la ganancia económica.

Palma et al. (56) definen, para la cuenca del río Aconcagua, distintas estrategias para el uso de los recursos tierra y agua.

Anderson (1) desarrolla un modelo computacional escrito en FORTRAN IV. En este modelo se busca despejar los efectos que tendrán en el ingreso del agricultor la variación de las restricciones de agua y de las

reglas zonales de distribución.

Dentro del proceso de optimización y, que ponen especial énfasis en el proceso de toma de decisiones, se puede nombrar los siguientes trabajos.

Rae (58) enfoca un problema de programación en un ambiente estocástico. En el trabajo se discretiza el problema, definiéndose estratos de ocurrencia de los sucesos. La función objetivo planteada es la siguiente:

$$\text{maximizar } E(u) = p'u \quad , \text{ donde}$$

$E(u)$ utilidad esperada
 p' vector de probabilidades
 u vector de utilidades

Dean y Finch (24) y Eidman, Dean y Carter (28) utilizan la teoría de decisiones estadística (bayesiana) para complementar los planes provenientes de un modelo de programación lineal cuyos coeficientes han sido definidos para condiciones determinísticas.

Espíldora y Arrau (29) definen una estrategia para obtener el uso racional del agua de riego en el valle de Elqui. Las estadísticas de disponibilidades hídricas, son discretizadas en 5 estados, definiéndose, para cada estado, un esquema óptimo de cultivos. Posteriormente, se hace una evaluación probabilística con los resultados, incorporando así a la incertidumbre existente en el ambiente productivo.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Area de trabajo

El trabajo se centró en la zona del valle de Elqui, por presentar éstas condiciones de aridez, por no tener un sistema regulador de caudales que sea de importancia y por poseer una gran cantidad de registros, los cuales son fundamentales para el funcionamiento de la metodología **por utilizar.**

El valle de Elqui se encuentra situado entre las latitudes $29^{\circ} 38'$ y $30^{\circ} 15'$ S y las longitudes $70^{\circ} 10'$ y $71^{\circ} 25'$ E, en el norte de la Región IV, provincia del Elqui.

El valle es el punto de contacto de los dos tipos de clima que caracterizan a la región del norte de Chile: el desértico de la parte septentrional y el estepario de la parte central y sur de ella. En líneas generales, el valle queda dentro del dominio del clima estepario con gran sequedad atmosférica.

Factores determinantes para las características climáticas anteriores son: el mar, el relieve y la altitud, por el hecho de presentar homogeneidad en toda la extensión de ambos cordones montañosos que recorren el valle.

Otra característica del clima de este valle, es la escasez de precipitaciones durante el año. Estas se registran durante los meses de junio, julio y agosto no sobrepasando los 150 mm de promedio anual. En cambio, en los contrafuertes cordilleranos las precipitaciones son mas abundantes y se manifiestan en forma de nevada, cuya nieve mantiene el caudal del rio en forma relativamente regular y permanente.

En lo referente a la hidrografía, el río Elqui se forma de las confluencias, a la altura de Rivadavia, de los ríos Claro y Turbio; a su vez, el río Claro nace de la unión de los ríos Cochiguas y Derecho; por su parte, el río Turbio está formado por el Incaguas y el Del Toro; finalmente, el río Del Toro está formado por los ríos Vacas heladas y La Laguna. Cerca del nacimiento del río La Laguna se encuentra el embalse del mismo nombre, con una capacidad de 40 millones de metros cúbicos.

La hoya hidrográfica del río Elqui alcanza a 9.844 km² de extensión. En la totalidad de su recorrido el río Elqui cursa el valle de oriente a poniente 1/.

3.1.2 Unidad de trabajo

En este trabajo, la unidad básica es el predio, el cual está ubicado en la cercanías de Vicuña. El predio base será definido por las siguientes características:

1/ La descripción del valle fue extractada de Espíldora y Arrau (29).

- a) la superficie apta de ser cultivada es de 100 ha;
- b) el predio posee una dotación de 150 acciones, cada una de las cuales equivale a 0,8 l/s para el año que presenta una probabilidad de excedencia de caudales que es mayor o igual al 80%;
- c) el predio no posee ningún sistema de regulación de caudales.

3.1.3 Cultivos y métodos de riego

El año productivo fué dividido en dos períodos. Para el primer período (septiembre-abril) se consideraron los siguientes cultivos y métodos de riego:

a) Cultivos

- 1 Sandía (Citrullus vulgaris Schrad. var. *typica*)
- 2 Zanahoria (Daucus carota L.)
- 3 Maíz (Zea mays L.)
- 4 Zapallo (Cucurbita maxima Duch.)
- 5 Pepino ensalada (Cucumis sativus L.)
- 6 Aji (Capsicum annum L.)
- 7 Poroto (Phaseolus vulgaris L.)
- 8 Zapallo italiano (Cucurbita pepo var. *medullosa* Allef)
- 9 Alfalfa (Medicago sativa L.)
- 10 Uva (Vitis vinifera L.)

b) Métodos de riego

- 1 Surco
- 2 Borde
- 3 Aspersión
- 4 Goteo

Para el segundo período (mayo-septiembre) se consideraron los siguientes cultivos y métodos de riego:

a) Cultivos

- 1 Tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)
- 2 Haba (Vicia fava L.)
- 3 Papa (Solanum tuberosum L.)
- 4 Coliflor (Brassica oleracea L. var. botrytis)
- 5 Betarraga (Beta vulgaris L. var. esculenta)

b) Métodos de riego

- 1 Surco
- 2 Goteo

3.1.4 Elementos de computación

La parte computacional del modelo fue desarrollada en el terminal perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile. El terminal está conectado a un computador central IBM 3031.

Todos los programas están escritos en FORTRAN IV, utilizándose los compiladores Fortran y Watfiv.

Como modelo de programación lineal se usó el programa TOYLP, el cual está escrito en FORTRAN IV y funciona siguiendo la operatoria Simplex.

3.1.5 Coefficientes del modelo de programación lineal

Todos los términos monetarios están expresados en moneda de diciembre de 1980. Todos los cuadros que respaldan a estos coeficientes están contenidos en el Apéndice I.

3.1.5.1 Coefficientes de la función objetivo. estos coeficientes están constituidos por los ingresos generados por las distintas combinaciones cultivo-método de riego consideradas.

Los coeficientes de ingreso están expresados en miles de pesos por hectárea y, están contenidos en el Cuadro 79 del Apéndice I (Cuadro I-79).

Para determinar el valor del beneficio generado por cada combinación cultivo-método de riego, hubo que solucionar un problema básico, el cual era la determinación de los valores de beneficio para los cultivos permanentes (alfalfa y uva) que fueran comparables entre sí y con los cultivos anuales. Con el fin de enfrentar el problema anterior, se utiliza el flujo anual equivalente (FAE) de los cultivos ^{2/}. El FAE entrega una expresión anual de beneficio para los cultivos permanentes y, que puede ser comparada con los respectivos beneficios de los cultivos anuales.

^{2/} René Mancilla St. Ingeniero Comercial Dr, Profesor de la Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Consulta personal.

El FAE es calculado a partir de la siguiente expresión:

$$FAE(k,1) = VAN(k,1)/(1+i)^n \quad , \text{ donde}$$

- FAE(k,1) flujo anual equivalente para el cultivo permanente k que es regado por el método 1.
- VAN(k,1) valor actual neto del cultivo permanente k que es regado por el método 1.
- i tasa de interés. La tasa de interés utilizada es del 10%, ya que esta es la tasa de referencia determinada por la Oficina de Planificación Nacional (DOEPLAN) (23) para los proyectos privados durante el año 1980.
- n número de años de vida útil de cultivo permanente considerado.

Para los cultivos anuales, la fórmula general de cálculo de los beneficios fue la siguiente:

$$\text{Beneficio}(k,1) = P(k) \times \text{Rend}(k,1) - \text{Costos}(k,1) \quad , \text{ donde}$$

- Beneficio(k,1) beneficio generado por el cultivo k que es regado por el método 1.
- P(k) precio de venta del cultivo k.
- Rend(k,1) rendimiento del cultivo k que es regado por el método 1.
- Costos(k,1) costos producidos por el cultivo k que es regado por el método 1.

- Precios. Corresponden a los promedios existentes durante la época esperada de cosecha de cada cultivo (Cuadro I-5).

- Rendimientos. Para el sector considerado, la vid es el cultivo predominante, estando los demás cultivos restringidos a nivel de huerto casero. Lo anterior ocasiona, obviamente exceptuando a la vid, que la información sobre los rendimientos de los cultivos sea escasa o nula. Para enfrentar el problema anterior, los coeficientes sobre los rendimientos se calcularon a partir de datos obtenidos de zonas cercanas o con condiciones agroclimáticas similares. Sin duda que los valores antes obtenidos pueden diferir, en forma importante, de los que realmente pueden alcanzarse en el sector pero, ante la ausencia de información directa, el criterio de cálculo empleado es aceptable para los objetivos de este trabajo.

Los coeficientes de rendimiento están contenidos en el Cuadro I-4.

- Costos. El detalle del cálculo de estos valores está contenido entre los cuadros I-6 y I-34.

Para el equipo de riego por aspersión se consideró una vida útil de 15 años, para el equipo de riego por goteo la vida útil considerada fue de 8 años.

Para los cultivos permanentes (alfalfa y uva) se hace el análisis de los costos en los cuadros I-44 al I-56 para la alfalfa y I-57 al I-78 para la uva.

Para el cálculo de los costos no se consideraron

los impuestos ni los costos de comercialización.

3.1.5.2 Restricciones. Dos son los tipos de restricciones que, en este caso, intervienen en el modelo de programación lineal, siendo éstas las de tipo igualitario y las de menor o igual.

- Restricciones igualitarias. Mediante este tipo de restricciones se obtiene la seguridad que una variable de elección cualquiera esté presente en la solución final en una magnitud fija determinada en forma previa al desarrollo del programa lineal. Este tipo de restricciones son definidas por el modelo de optimización. Una explicación más en detalle sobre la función y forma en la cual son generadas estas restricciones será dada más adelante.

- Restricciones de menor o igual. Mediante este tipo de restricciones, se impide que ciertas variables de elección alcancen valores que excedan ciertas cotas o límites característicos del problema analizado.

En este trabajo se definieron tres tipos de restricciones de menor o igual. El primer tipo corresponde al recurso suelo, dándole al problema analizado una cota espacial. El segundo tipo de restricción, considera las disponibilidades de agua a nivel predial, disponibilidades que fueron calculadas a partir de los caudales mensuales del río Elqui y de las acciones con las cuales cuenta el predio (cuadros I-1 al I-3). Por últi

mo el tercer tipo de restricción de **menor** o igual co responde a las cotas de mayor superficie ocupada por un cultivo, definiéndose como cota 10 ha. La razón de incorporar este último tipo de restricción de menor o igual está basado en la necesidad de impedir que un cultivo cualquiera aparezca, en la solución óptima, con una superficie cuya producción sea difícil o bien imposible de comercializar en las condiciones definidas en un principio. Hay que indicar que esta cota de máxima superficie no se definió para la uva de mesa, ya que por ser éste un cultivo de exportación, se supone que por mucha que sea la superficie definida en la solución óptima, la producción generada, cualquiera sea ésta, podrá ser comercializada sin problemas y con las rentabilidades calculadas en un principio.

- Coefficientes de las restricciones. Cuatro son los coeficientes que entran en juego durante el desarrollo del modelo. El primer tipo corresponde a los valores de los coeficientes de las restricciones igualitarias, el segundo corresponde a los coeficientes de la restricción suelo, el tercer tipo es el perteneciente a las cotas de máxima superficie de los cultivos y el cuarto tipo corresponde a los coeficientes de demanda hídrica.

Los tres primeros tipos de coeficientes corresponden a valores unitarios, los que corresponden a los valores básicos de superficie, una hectárea.

El cuarto tipo de coeficientes son los requerido

mientos hídricos mensuales de las combinaciones cultivo-método de riego. Estos valores son generados por el programa, a partir de los valores de evapotranspiración característicos de la zona. La dificultad de encontrar los coeficientes necesarios para hacer los cálculos de evapotranspiración, hizo necesaria la incorporación de los valores respectivos calculados por Caldentey y Pizarro (9) (Cuadro I-84). En caso de contar con los coeficientes necesarios, es recomendable que el mismo programa haga los cálculos correspondientes.

3.1.6 Fuentes de la información

Ninguno de los datos obtenidos para el desarrollo del modelo ha sido obtenido en forma directa del terreno, sino que a partir de fuentes secundarias. Es, por lo tanto, importante detallar cuales son esas fuentes. Este detalle se encuentra en la Figura 1.

	Precios	Costos	Coefficientes productivos	Periodos vegetativos	Disponibilidad de agua	Rendimientos	Datos agroclimaticos	Calidad del agua
ODEPA	Grid	Grid	Grid			Grid		
CORA IICA			Grid			Grid		
Plan de Area					Grid			
CORFO	Grid		Grid			Grid		
Literatura	Grid	Grid	Grid			Grid	Grid	
IREN					Grid			Grid

FIGURA 1. Fuentes de la información

3.1.7 Modelo

Dada la complejidad de éste y considerando que su establecimiento es uno de los objetivos del trabajo, el modelo se presenta en el siguiente capítulo.

4. MODELO

Tal como se dijo en la Introducción, la metodología desarrollada busca la optimización en el uso del recurso agua, dada una situación en la cual la escasez y la incertidumbre son las características relevantes del medio.

En la Figura 2 se representa la estructura básica del comportamiento sugerido por la metodología.

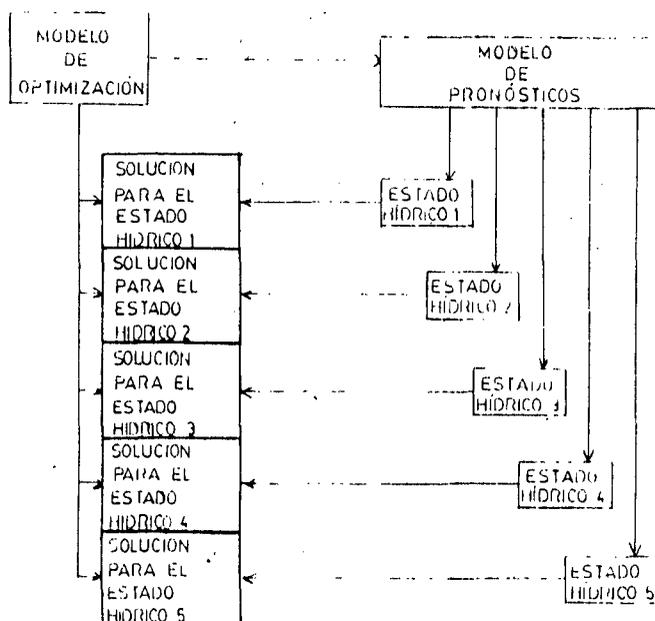


FIGURA 2. Metodología de optimización

En la Figura 2, el modelo de optimización considera la situación de escasez y, el modelo de pronósticos considera la incertidumbre.

Primeramente, y teniendo en cuenta que, por un lado, cuando aumenta la disponibilidad de agua es mayor la superficie posible de ser puesta bajo cultivo y, que, por otro, la disponibilidad de agua varía entre un año y otro, se definieron 5 estados hídricos, los

que cubren todo el rango de las disponibilidades hídricas que pueden presentarse. A continuación y, para cada estado hídrico, el modelo de optimización define la superficie de la o las combinaciones cultivo-método de riego que maximizarán el retorno económico por metro cúbico de agua usado.

Por su parte, el modelo de pronósticos indica el estado hídrico que ocurrirá durante el siguiente período. Ahora, con el conocimiento del estado hídrico que ocurrirá y con la superficie de la o las combinaciones cultivo-método de riego que maximizarán el retorno económico por metro cúbico para ese estado, se engloba el universo de decisiones para el ambiente productivo definido.

El modelo de optimización puede ser dividido en 6 partes, cada una de las cuales aparece en la Figura 3 encerrada por una línea segmentada. Elementos fundamentales de cada una de las partes son los nudos de decisión (ndd). Un elemento básico del modelo de optimización es el uso de la programación lineal (MPL), la cual se encarga de generar antecedentes que se analizan en el modelo. Más adelante será explicada, en detalle, la interrelación definida anteriormente.

La primera parte del modelo de optimización, analiza el problema que pueden generar los métodos de riego a presión si éstos producen inversión ociosa. El ndd U1 analiza si se produce una variación en la super

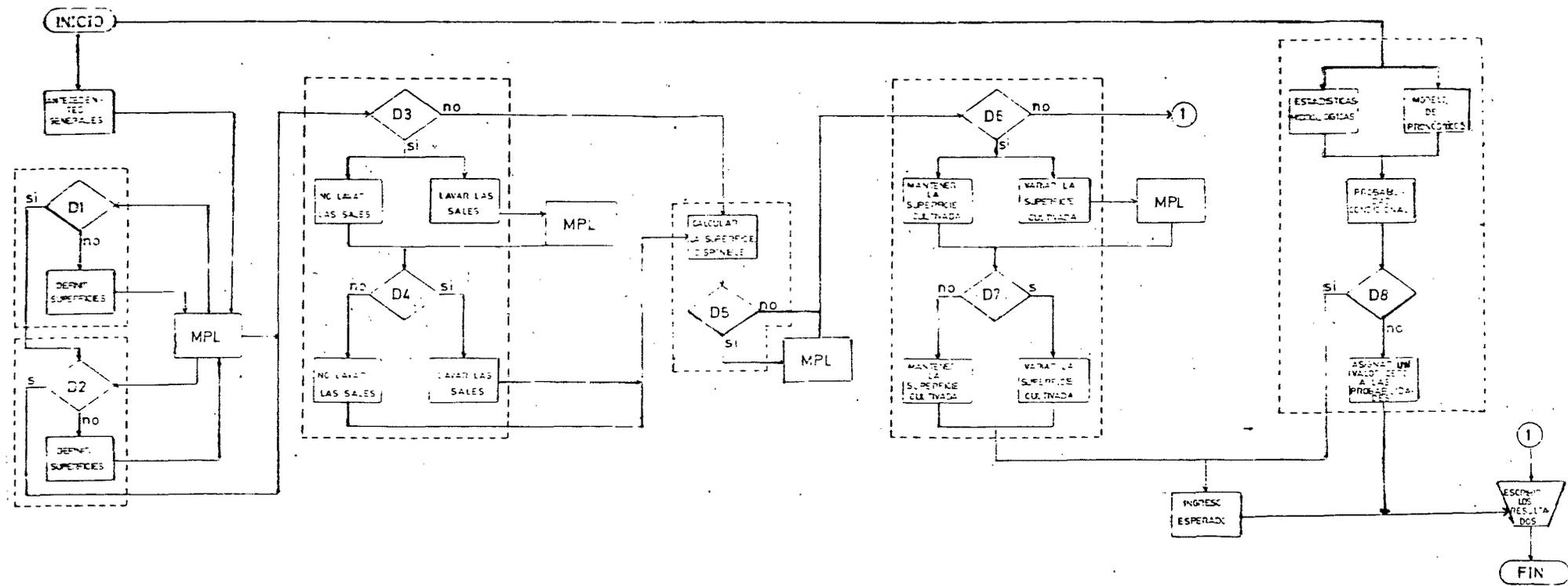


FIGURA 3. Modelo de optimización

ficie regada con métodos de riego a presión entre un estado hídrico y otro.

La segunda parte analiza el problema que pueden ocasionar los cultivos permanentes si es que varían las superficies plantadas con ellos entre un estado hídrico y otro. El ndd D2 consulta si varían las superficies plantadas con cultivos permanentes cuando se pasa de un estado hídrico a otro.

La tercera parte analiza el problema de la salinidad. El primer ndd de esta parte (D3) detecta si existe un nivel de salinidad que pueda ser perjudicial para los cultivos. Si lo anterior ocurre, se definen dos estrategias; la primera es la de lavar las sales y, la otra, es la de no lavar las sales. El ndd D4 analiza cual de las dos estrategias es la más rentable.

En la cuarta parte se considera el desarrollo de un esquema de cultivos para el período mayo-septiembre. Durante este período, la principal limitante es la disponibilidad de suelo, la cual estará en relación a los requerimientos que se hagan de este recurso durante el período septiembre-abril. El ndd D5 examina si existe superficie disponible para ser sembrada.

La quinta parte evalúa la situación que se produce si ocurre un estado hídrico de menor disponibilidad hídrica que el pronosticado. El primer ndd de esta parte (D6) analiza si existen cultivos que puedan ser afectados por la situación antes nombrada. Si lo anterior

ocurre, se definen dos estrategias; la primera es la de regar una menor superficie y, la otra, es la de mantener la superficie originalmente definida. El ndd 07 analiza cual de las dos estrategias es la más rentable.

La última parte, desarrolla un análisis probabilístico, en el cual se evalúa cuan exacto es el modelo de pronósticos, realizando éste análisis el ndd 08.

Una explicación mas en profundidad de los contenidos y fundamento de las primeras cinco partes del modelo de optimización se entrega, mas adelante , en el punto 4.2.3. En lo que respecta a la sexta parte del modelo de optimización y al modelo de pronósticos, las referencias respectivas están contenidas en el Apéndice II en el punto II-1.39.

4.1 Escasez e incertidumbre

Con el fin de enfrentar la doble característica escasez-incertidumbre, se desarrolló un continuo de toma de decisiones y una evaluación probabilística. En primer lugar, se optimizó ante la situación de escasez, seguidamente, los resultados de la optimización se ponderaron por una matriz de probabilidades de ocurrencia de los caudales pronosticados. Esta ponderación tiene por objeto el incorporar a la incertidumbre como a un costo más dentro del esquema productivo, definiéndose el ingreso esperado para cada situación posible.

La incertidumbre está definida por la situación en la cual el agricultor desconoce la cantidad de agua con la que él va a contar durante el período siguiente, por lo tanto, existe un elemento desconocido en su proceso de toma de decisiones. Este desconocimiento hace que los ingresos percibidos por el agricultor presenten grandes fluctuaciones.

Para enfrentar el problema anterior, es decir, para disminuir el nivel de incertidumbre, se hizo uso de la llamada estadística bayesiana. La estrategia seguida está definida por los siguientes pasos:

- a) discretizar las estadísticas de disponibilidades hídricas en b estados hídricos, los que van desde el estado hídrico muy seco (1) al muy húmedo (b). Para cada uno de estos estados se definió una solución óptima, es decir, un esquema distinto de cultivos;
- b) definir un modelo de pronósticos. Este modelo de pronósticos permitió hacer una estimación del tipo de estado hídrico que ocurrirá durante el siguiente período;
- c) definir una matriz de probabilidades condicionales. En esta matriz se estará calibrando la exactitud del modelo de pronósticos. Los elementos de esta matriz corresponden a la probabilidad de ocurrencia de un estado hídrico i dado que se pronosticó uno j , y
- d) multiplicar la matriz anterior por la matriz de ingresos, obteniéndose como producto la matriz de ingresos esperados.

4.2 Funcionamiento del modelo

El esquema básico de funcionamiento del modelo consiste en el desarrollo de una iteración constante entre un programa principal o de toma de decisiones y un modelo de programación lineal (MPL). El MPL proporciona información al modelo de toma de decisiones (MTD), éste la analiza y decide el camino por seguir, es decir, seguir avanzando a través del MTD o bien, llamar al MPL, el cual reciclará sus resultados al MTD, repitiéndose el proceso.

Debido a que las matrices en la cuales está contenida la información en el MPL tienen una estructura distinta de sus similares del MTD, se desarrolló una interfase de transformación que traduce el flujo de información a la estructura correspondiente.

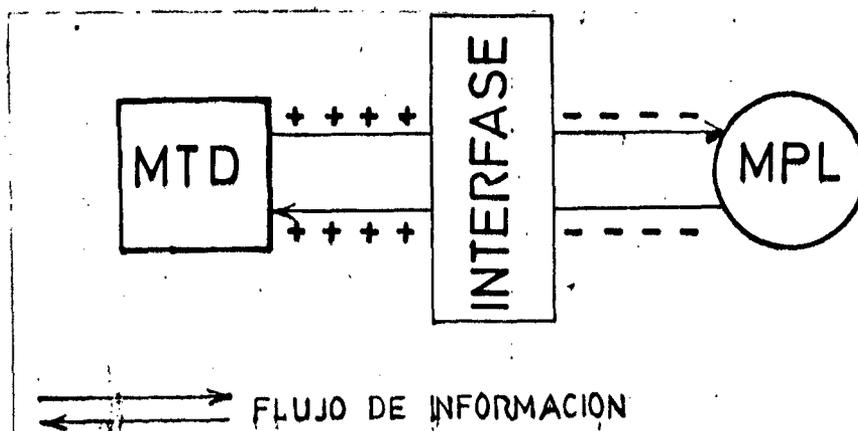


FIGURA 4. Función de la interfase

La estructura de la interfase, con sus componentes (subrutinas) y sus relaciones, está contenida en la Figura 5.

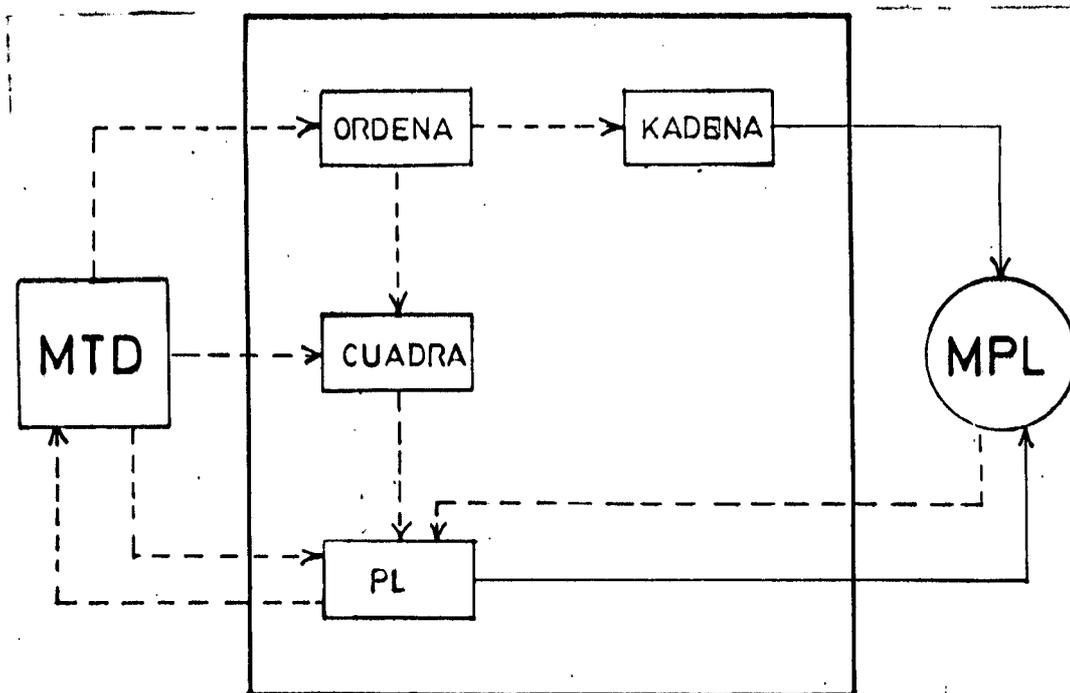
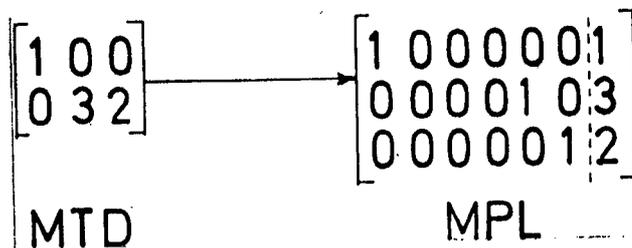


FIGURA 5. Estructura de la interfase

En la Figura 5; la línea segmentada indica que la información va vía COMMON; la línea continua indica que el flujo se transmite vía argumento de la subrutina.

4.2.1 Interfase (INT)

El primer problema que soluciona INT es el siguiente:



Es decir, INT parte de una matriz "compacta" y tiene que llegar a otra en la cual, por un lado, define la ubicación del argumento considerado y, por otro, su magnitud.

Otro problema que enfrenta INT, es el de la disposición de los coeficientes de la matriz de variables de elección y la de los lados derechos (RHS), teniendo en cuenta que en un principio el número de restricciones igualitarias es desconocido. Las restricciones igualitarias son definidas por el mismo programa, desconociéndose de antemano cuantas serán las restricciones y cuáles serán los cultivos sometidos a ellas. Por requerimientos del TOYLP, las restricciones igualitarias deben ubicarse en las primeras filas de la matriz de coeficientes y en el RHS. A continuación se presenta el esquema de la matriz de coeficientes.

$a_{1,1}x_1$	$a_{1,2}x_2$	...	$a_{1,n-1}x_{n-1}$	$a_{1,n}x_n$	COEFICIENTES
...	...	...	...	...	RESTRICCIONES
$a_{j,1}x_1$	$a_{j,2}x_2$	...	$a_{j,n-1}x_{n-1}$	$a_{j,n}x_n$	IGUALITARIAS
$a_{j+1,1}x_1$	$a_{j+1,2}x_2$	...	$a_{j+1,n-1}x_{n-1}$	$a_{j+1,n}x_n$	COEFICIENTES TIERRA
...	...	...	...	...	COEFICIENTES
$a_{m,1}x_1$	$a_{m,2}x_2$	...	$a_{m,n-1}x_{n-1}$	$a_{m,n}x_n$	REQUERIMIENTOS HIDRICOS

FIGURA 6. Matriz de coeficientes

La INT define a la matriz anterior partiendo de una situación en la que j no es conocido.

Un tercer problema que soluciona la interfase es el de definir, para cada oportunidad que se requiera, el funcionamiento del MPL, los coeficientes paramétricos (número de variables, número de restricciones y el número de las restricciones igualitarias). Los coeficientes paramétricos pueden variar a lo largo del desarrollo del modelo de optimización.

4.2.1.1 Subrutina Ordena. Esta subrutina resuelve dos problemas. En primer lugar, determina el número de restricciones igualitarias que han sido definidas por el MTD. Seguidamente, ordena las variables definidas como restricciones igualitarias dentro de una matriz susceptible de ser leída por el MPL. La misma función se realiza con los respectivos RHS de cada restricción igualitaria.

4.2.1.2 Subrutina Cuadra. Una vez que han sido definidos y ordenados los coeficientes de las restricciones igualitarias, esta subrutina ordena el resto de los coeficientes considerados. A partir de la fila siguiente a la última restricción igualitaria, define los coeficientes de la restricción de suelo, los coeficientes de máxima superficie ocupada por cultivo y, por último, los coeficientes de los requerimientos hídricos.

Otra función que realiza Cuadra, es la de linealizar la matriz de beneficios, definiéndose la función objetivo del MPL.

4.2.1.3 Subrutina PL. Esta es la subrutina más importante del complejo INT, ya que éste es el último paso del flujo de información antes de que éste llegue a MPL y, también, porque cuando el flujo va en el sentido contrario, PL traduce e "inyecta" la información a MTD.

En esta subrutina se realizan cinco llamados al MPL, correspondiendo cada llamado a uno de los cinco estados hídricos definidos. En cada uno de estos llamados se cambian los RHS correspondientes a las restricciones hídricas.

Una vez que los llamados del MPL ya han sido realizados, se origina un flujo de información en el sentido inverso, es decir, del MPL al MTD.

4.2.1.4 Subrutina Kadena. Esta subrutina es la encargada de definir los coeficientes paramétricos que marcarán el desempeño del MPL.

4.2.2 Modelo de programación lineal

La operatoria del modelo de programación lineal usado (TOYLP) está basada en el método Simplex de solución de algoritmos computacionales. El TOYLP será considerado como una entidad "transparente", es decir, no interesará su estructura ni su funcionamiento, sólo se prestará atención a las entradas y a las salidas que genere.

4.2.2.1 Entradas del MPL. Tres son los antecedentes proporcionados al MPL, éstos son:

- función objetivo;
- matriz de coeficientes, y
- RHS.

- Función objetivo (OBJ). La función objetivo se genera a partir de la matriz de beneficios (BENEF), la cual contiene los beneficios que genera cada combinación cultivo-método de riego (C/MR) considerada.

- Matriz de coeficientes (RESTR). En esta matriz se definen los requerimientos de insumos que tiene cada cultivo o bien, el nivel de actividad determinado para el rubro.

En este trabajo se han definido cuatro tipos de coeficientes:

- restricciones igualitarias;
- restricción de suelos;
- cotas de máxima superficie, y
- restricción de disponibilidad hídrica.

- Coefficientes de las restricciones igualitarias. Estos coeficientes determinan dos tipos de situaciones: los cultivos permanentes y los métodos de riego a presión.

Para los fines de este trabajo, estos coeficientes

tienen un valor unitario, indicando con esto que la undad de superficie es una hectárea.

- Coeficientes de la restricción de suelos. Estos coeficientes ocupan la fila que está a continuación de la última fila ocupada por una restricción igualitaria.

Deben establecerse tantas restricciones de este tipo como clases de suelo haya. En este caso, se considera que el suelo del predio es de características homogéneas.

- Coeficientes de las cotas de máxima superficie. Tal como se dijo anteriormente, la función de estos coeficientes es la de impedir que un cultivo, cualquiera aparezca, en la solución óptima, con una superficie tal que su producción sea de tal magnitud que el proceso de comercialización se transforme en problemático.

La magnitud de cada uno de estos coeficientes, tiene que ser el resultado de un análisis del mercado del producto considerado. Como lo anterior queda fuera de los objetivos de este trabajo, se determinó en forma arbitraria la cota de 10 ha, para todos los cultivos, excepto la uva de mesa, por ser éste un cultivo exportable.

- Coeficientes de restricción de disponibilidad hídrica. Se establecieron 8 filas de coeficientes, corespondiendo cada una a un mes del período septiembre-abril. En este caso, los coeficientes corresponden a los requerimientos hídricos de cada combinación cultivo-método de riego.

Las siguientes restricciones, si bien no están de finidas en el MPL, se nombran, ya que, bajo ciertas circunstancias, pueden constituirse en problemáticas. En caso que ocurra lo anterior, estas restricciones deben ser incorporadas al MPL a partir de la fila siguiente a la correspondiente de la restricción de suelo.

- Restricción de capital. Mediante esta restricción se evita que las necesidades de capital excedan a las disponibilidades.

- Restricción de mano de obra. Esta restricción debe plantearse para evitar problemas de exceso de demanda durante los períodos críticos de disponibilidad de este recurso (siembra, cosecha, etc).

- Restricción de maquinaria y/o fuerza animal. Estos son factores que, por un déficit temporal derivado de un exceso de demanda puede transformarse en problemático.

- RHS. Estos corresponden a las cotas máximas, mínimas o de igualdad, que definen el comportamiento de las variables; dicho de otra forma, definen el límite hasta el cual puede llegar el uso conjunto del insumo sometido a la restricción.

4.2.2.2 Salidas del MPL. El siguiente es el uso que se hará de las salidas:

- a) Solución del programa. corresponderá al valor generado por la estrategia óptima.

- b) Solución primal. Estos valores serán las superficies definidas para cada combinación cultivo-método de riego.
- c) Solución dual. Este es el valor que define el precio asignado al agua en función de su escasez.
- d) Holgura de la restricción primal. Estas holguras servirán para determinar cual o cuales son los meses críticos. Por mes crítico se entiende al mes que impide una expansión de la superficie bajo cultivo, ya que no presenta excedentes hídricos.
- e) Sensibilidad de costos. Mediante estos antecedentes, se conocerán las máximas variaciones que pueden experimentar los precios de los productos considerados en la solución óptima, sin que ésta se deba modificar.

4.2.3 Modelo de toma de decisiones (MTD).

Este modelo puede ser descrito como una estructura lineal, lógica y compuesta por una serie de criterios de orden técnico, biológico, agronómico y económico, que buscan que la decisión final que se tome sea congruente con los criterios contenidos en él.

El MTD puede ser dividido en 5 partes. La primera parte trata el problema de evitar la existencia de inversión ociosa. Para este trabajo, la inversión ociosa es consecuencia de una subutilización de los equipos de riego a presión (aspersión y goteo). En caso que sea detectada una variación en la superficie re

gada con un método de riego a presión, cuando se pasa de un estado hídrico a otro, se define como permanente a la superficie regada con el método de riego pertinente durante el estado hídrico más seco. Posteriormente, las superficies antes definidas son incorporadas como restricción igualitaria al modelo de programación lineal.

La segunda parte del MTD trata el problema de la variación en la superficie plantada con cultivos permanentes. Como consecuencia de las variaciones en las disponibilidades hídricas, el modelo de programación lineal entregará como óptimas por estado a diversos valores de superficies plantadas con cultivos permanentes. Lo anterior, de producirse, sería una irracionalidad económica, ya que dependiendo del estado hídrico, un año habrá que plantar un cierto número de hectáreas, al siguiente habrá que plantar otras tantas, en seguida habría que arrancar varias hectáreas, etc. Para enfrentar el problema anterior, se eligió el criterio de dejar como definitiva a la superficie plantada con el cultivo permanente respectivo durante el estado hídrico más seco, incorporándose esta superficie como una restricción igualitaria en el MPL.

La tercera parte considera la incidencia que tiene el contenido de sales en el suelo y en el agua sobre el proceso de toma de decisiones. En caso que sea detectado un problema de salinidad, se evalúa la rentabilidad de dos estrategias; la primera, consiste en lavar las sales del perfil, la segunda, es la de no lavarlas.

El hecho de lavar las sales implicará un aumento en los requerimientos hídricos de los cultivos, lo que se transformará en que sólo será posible regar un menor número de hectáreas, pero, por otro lado, no se producirá una disminución de los rendimientos. En caso que las sales no sean lavadas, podrán regarse un mayor número de hectáreas, pero disminuirán los rendimientos. En otras palabras, al compararse estas dos estrategias, se estará investigando si la incidencia económica que tiene la disminución de los rendimientos es compensada por la mayor superficie bajo cultivo.

En la siguiente parte de MTD se considera el desarrollo de un esquema de cultivos para la época mayo-septiembre. En esta parte hay que considerar que sólo una parte del suelo está disponible para ser sembrado. En primer lugar, hay que restar del total de superficie disponible de suelo, la que está ocupada por cultivos permanentes. A continuación, se resta la superficie sembrada durante septiembre en el otro período (septiembre-abril). Como la decisión sobre este tipo de cultivos se hace durante el mes de abril, no es posible conocer la cantidad de agua con la cual contará el período siguiente, por lo tanto, no se conocerá el número de hectáreas sembradas durante septiembre. Para obviar lo anterior, se tomó como superficie tipo a la sembrada durante el mes de septiembre del estado hídrico más húmedo.

En su última parte, el MTD evalúa el efecto que tendrá la ocurrencia de un estado hídrico de menor disponibilidad hídrica que el pronosticado. Son analizadas dos estrategias; la primera, consiste en mantener el esquema de cultivos definido para el estado hídrico más húmedo, la segunda, es la de adecuar la superficie bajo cultivo a la que puede ser regada en forma normal por la menor disponibilidad hídrica ocurrente. El hecho de mantener la superficie originalmente definida, implicará, por un lado, la disminución de los rendimientos, pero, por otro, no variará la superficie bajo cultivo. La estrategia de adecuar la superficie bajo cultivo a las nuevas disponibilidades hídricas implicará, por un lado, que habrá una menor superficie bajo cultivo; pero, por otro, se mantendrán los rendimientos. Al comparar estas dos estrategias, se estará analizando si el hecho de poner bajo cultivo una menor superficie se vé compensado con la obtención de mayores rendimientos.

La rutina computacional que desarrolla el modelo de optimización, se llama RIEGDP, la cual controla el flujo de órdenes y de información a través de todo el proceso.

4.2.3.1 Rutina RIEGCP. La función de esta rutina es la de llamar a las distintas subrutina, las cuales desarrollan los distintos procesos del MTD. Una descripción mas en detalle de esta rutina y de sus subrutinas, se hace en el Apéndice II.

La rutina RIEGOP puede ser dividida en tres partes. La primera parte define el ambiente en el cual se desarrollará el proceso de optimización, es decir, define las características básicas del problema y la base inicial de antecedentes. En esta parte se consideran las subrutinas Guia, Reqhíd, Reader, Ayuda, Clean, Change, Chanl, Esc1, Culsal, Pl y Veryf.

En la segunda parte de Riegop se desarrolla el proceso de optimización propiamente tal. El problema planteado por los métodos de riego a presión es tratado por las subrutinas Culmr, Strong, Ordena, Cuadra y Pl. La situación de los cultivos permanentes es tratada por las subrutinas Culper, Ordena, Cuadra y Pl. El efecto de la salinidad en los resultados es evaluado por las subrutinas, Ordena, Hidro, Renmod, Cuadra, PL6 y Escsal. A continuación, la subrutina Esc2a escribe las superficies de las combinaciones cultivo-método de riego que han sido definidas como óptimas por el programa. Seguidamente, se desarrolla el esquema de cultivos para la época mayo-septiembre, considerándose, en este punto, las subrutinas Culsup y Cscal. El último paso de esta parte considera la situación que se produce cuando ocurre un estado hídrico de menor disponibilidad hídrica que el pronosticado, contemplándose las subrutinas Culma, PL9 y Rentab.

En la última parte de Riegop, se controla la escritura de los resultados del modelo, considerándose las subrutinas Esc7, Esc7a, Esc3, Esc2a, Esc4, Esc5 y Esc6.

5. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Lo definido en el capítulo anterior, corresponde a la estructura del modelo de optimización, es decir, al ordenamiento espacio-tiempo de los procesos que conducen y canalizan al flujo de decisiones y le permiten al modelo, por un lado, mantener coherencia y permanencia y, por otro, lograr los objetivos definidos en un principio.

Los resultados generados son un reflejo de la solución óptima para el sector elegido en el trabajo, siempre que se cumplan las suposiciones básicas planteadas; las que pueden ser resumidas en la siguientes:

- Se ha supuesto una perfecta movilidad de los factores productivos;
- se ha supuesto que al inicio del período productivo el predio está libre de cultivos, y
- las suposiciones básicas de un modelo de programación lineal.

No obstante lo anterior, los resultados son, de todas maneras, válidos, ya que cumplen con los objetivos planteados por este trabajo, es decir, el desarrollo de una metodología de optimización.

El análisis de los resultados provenientes del modelo, son un elemento básico de la metodología, ya que el entendimiento y aprovechamiento de ellos son la justificación final de ella.

CUADRO 3

Combinaciones cultivo-método de riego
que se consideraran

	LAS SIGUIENTES SON LAS COMBINACIONES CULTIVO/METODO DE RIEGO CONSIDERADAS			
	SORCO	BORDE	ASPERSION	GOTEO
SANDYA	SI	NO	SI	SI
ZARZAMORA	NO	NO	SI	NO
MAYZ	SI	NO	SI	NO
ZAPALLO	SI	NO	SI	SI
PEPINO ENSALADA	SI	NO	SI	SI
AJI	SI	NO	SI	SI
POROTO	SI	NO	SI	SI
ZAPALLO ITALIANO	SI	NO	SI	SI
ALFALFA	NO	SI	SI	NO
OVA MESA	SI	NO	NO	SI

CUADRO 4

Tipificación de los estados hidrológicos

TIPIFICACION DE LOS ESTADOS HIDROLOGICOS			
ESTADO HIDROLOGICO	CAUDAL MEDIO (1)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE LOS CAUDALES MEDIOS	CLASIFICACION
1	280328,00	> 85%	MUY SECC
2	393627,00	60%-85%	SECC
3	537317,00	40%-60%	NORMAL
4	684746,00	15%-40%	HUMEDO
5	1562385,00	< 15%	MUY HUMEDO

(1) METROS CUBICOS POR ANO

5.2 Superficies óptimas

Las superficies de los cultivos, con sus correspondientes métodos de riego, definidas por el modelo para cada estado hídrico, son las que generan el mayor retorno económico posible dado un conjunto de condiciones que se impusieron.

CUADRO 5

Superficies óptimas

SUPERFICIES BAJO CULTIVO (SEPTIEMBRE - ABRIL)					
CULTIVO	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	ESTADO 5
ZANA+ASPEI	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA
PAT+SORCI	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	10,0 HA
ZAPA+SOFCI	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	10,0 HA
PEN+SORCI	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA
BOY+SORCI	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	10,0 HA
ZIYA+SORCI	0,0 HA	4,8 HA	9,9 HA	9,9 HA	9,9 HA
ZIYA+ASPEI	0,1 HA	0,1 HA	0,1 HA	0,1 HA	0,1 HA
JOVA+SOFCI	18,8 HA	18,8 HA	18,8 HA	18,8 HA	18,8 HA
TOTAL	28,5 HA	33,7 HA	39,7 HA	40,8 HA	69,7 HA

Las combinaciones cultivo-método de riego que a parecen en la solución óptima y, que están contenidas en el Cuadro 5, se deben, principalmente, a cinco ra zones:

- Relación beneficio/metro cúbico usado.

Este es un criterio preponderante usado por el MPL para jerarquizar los cultivos y elegir los que den el mayor retorno económico por metro cúbico usado. Los valores de esta relación, están contenidos en el Cuadro 6.

- Requerimientos hídricos por mes

La mayor superficie posible de ser puesta bajo cultivo, es aquella en la cual los requerimientos hídricos igualen a las disponibilidades.

- Tipo de cultivo

Corresponde a la división de los cultivos en anuales y permanentes, aplicándose los criterios definidos anteriormente.

- Tipo de método de riego

Este punto se refiere a si el método de riego considerado es a presión o superficial.

CUADRO 6E

Relación beneficio/metro cúbico usado

Cultivo - Método de riego	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril
Sandía - surco	-	33	40	148	-	-	-	-
Sandía - aspersión	-	50	61	224	-	-	-	-
Sandía - goteo	-	24	32	119	-	-	-	-
Zanahoria - aspersión	-	93	141	-	-	-	-	-
Maiz - surco	-	55	56	101	-	-	-	-
Maiz - aspersión	-	97	89	138	-	-	-	-
Zapallo - surco	105	90	54	69	60	231	-	-
Zapallo - aspersión	162	139	83	106	93	356	-	-
Zapallo - goteo	122	105	63	80	70	269	-	-
Pepino - surco	132	46	36	-	-	-	-	-
Pepino - aspersión	206	72	57	-	-	-	-	-
Pepino - goteo	71	25	20	-	-	-	-	-
Ají - surco	107	76	81	99	-	-	-	-
Ají - aspersión	177	126	134	137	-	-	-	-
Ají - goteo	135	96	102	105	-	-	-	-
Poroto - surco	56	33	22	-	-	-	-	-
Poroto - aspersión	76	45	30	-	-	-	-	-
Poroto - goteo	(54)	(31)	(21)	-	-	-	-	-
Zapallo italiano - surco	201	161	86	238	-	-	-	-
Zapallo italiano - aspersión	303	243	130	359	-	-	-	-
Zapallo italiano - goteo	277	222	119	328	-	-	-	-
Alfalfa - borde	-	19	37	21	21	20	42	33
Alfalfa - aspersión	-	22	43	24	25	23	49	38
Uva - surco	157	177	106	61	86	75	186	172
Uva - goteo	390	446	267	154	217	189	469	434

- Cota de máxima superficie

Mediante esta cota, se evita que un cultivo esté presente en la solución óptima, con una superficie en la cual su producción asociada sea difícil, tal vez imposible, comercializar con las rentabilidades calculadas.

Teniendo en cuenta las cinco razones enunciadas anteriormente, el análisis del por que están presentes en la solución óptima algunas combinaciones cultivo-método de riego y otras no, se hace a partir del estado hídrico más seco. La uva regada con goteo, es el cultivo con el mayor valor de la relación beneficio/metro cúbico usado (relación B/A), por lo tanto, es el primer cultivo en ser considerado en la solución óptima. La superficie ocupada por este cultivo, 18,8 ha, es definida por la disponibilidad hídrica del mes de diciembre, la que sólo permite regar esa superficie. Considerando las disponibilidades hídricas restantes, después que se resta de las disponibilidades hídricas totales los requerimientos respectivos de la uva regada por goteo, y, teniendo en cuenta el valor de la relación B/A, el siguiente cultivo en ser considerado es la zanahoria regada por aspersión. La superficie ocupada por el cultivo anterior, está definida por la cota de máxima superficie (10 ha). Por último y, considerando las disponibilidades hídricas restantes y los valores de la relación B/A, es el zapallo italiano regado por aspersión el siguiente cultivo en ser considerado. La superficie asignada al cultivo anterior, 0,1 ha, está definida por las disponibilidades hídri

cas presentes durante el mes de diciembre, las que só lo permiten regar la superficie antes nombrada.

Como consecuencia del período vegetativo de los demas cultivos considerados, durante el estado hídrico mas seco no se puede considerar otro cultivo.

Todos los cultivos definidos durante el estado hídrico mas seco, son incorporados al MPL como restricciones igualitarias, por ser ellos cultivos permanentes o regados por un método a presión.

A partir del estado hídrico siguiente y, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la selección de las combinaciones cultivo-método de riego y las respectivas superficies, sigue la misma pauta de finida anteriormente.

5.3 Menor disponibilidad de agua que la pronosticada

Los resultados aquí escritos, reflejan cual es la mejor estrategia por seguir cuando ocurre un estado hídrico de menor disponibilidad hídrica que la pronosticada.

Es necesario señalar, que de acuerdo al modelo de pronósticos, es posible detectar e identificar la nueva situación hídrica que se produce.

El modelo compara la incidencia económica de regar un menor número de hectáreas, de acuerdo con la menor disponibilidad hídrica, o bien, mantener la superficie definida por el estado hídrico pronosticado, produciéndose, en este caso, una disminución de los rendimientos de los cultivos que son regados con una insuficiente cantidad de agua.

CUADRO 7

Superficies definidas para las situaciones durante las cuales hay menos agua que la pronosticada

COMBINACION CULTIVO-METODO DE RIEGO PARA CUANDO HAY MENOS AGUA QUE LA PRONOSTICADA					
ESTADO 2				PRONOSTICO	
CULTIVO	ESTADO 1			EFECTIVIDAD	
ZANA ASPE	10,0 HA				
ZITTA ASPE	0,1 HA				
DOVA ROTE	18,8 HA				
TOTAL	28,9 HA				
ESTADO 3				PRONOSTICO	
CULTIVO	ESTADO 1	ESTADO 2		EFECTIVIDAD	
ZANA ASPE	10,0 HA	10,0 HA			
ZITTA ASPE	0,0 HA	0,0 HA			
ZITTA ASPE	0,1 HA	0,1 HA			
DOVA ROTE	18,8 HA	18,8 HA			
TOTAL	28,9 HA	33,7 HA			
ESTADO 4				PRONOSTICO	
CULTIVO	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	EFECTIVIDAD	
ZANA ASPE	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA		
ZITTA ASPE	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA		
ZITTA ASPE	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA		
ZITTA ASPE	0,1 HA	0,1 HA	0,1 HA		
DOVA ROTE	18,8 HA	18,8 HA	18,8 HA		
TOTAL	28,9 HA	33,7 HA	38,7 HA		
ESTADO 5				PRONOSTICO	
CULTIVO	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	EFECTIVIDAD
ZANA ASPE	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	
ZITTA ASPE	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	
ZITTA ASPE	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	0,0 HA	
ZITTA ASPE	0,1 HA	0,1 HA	0,1 HA	0,1 HA	
DOVA ROTE	18,8 HA	18,8 HA	18,8 HA	18,8 HA	
TOTAL	28,9 HA	33,7 HA	38,7 HA	48,7 HA	

De acuerdo con el Cuadro 7, puede inferirse que siempre es más rentable el reducir las superficies bajo cultivo, hasta el punto en que éstas puedan ser regadas en forma normal por las disponibilidades hídricas existentes.

5.4 Superficies óptimas (mayo-septiembre)

La función de los cultivos definidos durante es ta época, es la de darle al suelo un segundo uso duran te el año. La superficie disponible para ser sembrada durante esta época, está delimitada por el uso que se haga del suelo durante la época septiembre-abril. En este caso, la superficie disponible es de 50,3 ha, las que se originan de restarle a la superficie total (100 ha), la superficie ocupada por los cultivos permanen tes y los cultivos sembrados durante septiembre en el estado hídrico 5.

Los cuadros 8 y 9 identifican los cultivos, los métodos de riego y las combinaciones cultivo- método de riego que se consideraron durante esta época.

CUADRO 8

Cultivos y métodos de riego considerados

LOS SIGUIENTES SON LOS CULTIVOS CONSIDERADOS PARA LOS MESES SIN PROBLEMAS DE AGUA (MAYO - SEPTIEMBRE)	
CULTIVOS	
TOMATE	TOMA
HABA	HABA
PAPA	PAPA
COCTIFLOR	COCT
BEYARRAGA	BETA
MÉTODOS DE RIEGO	
SURCO	SURC
GOTE	GOTE

CUADRO 9
Combinaciones cultivo-método de riego
consideradas

COMBINACIONES CULTIVO-METODO DE RIEGO CONSIDERADAS PARA LOS CULTIVOS SUPLEMENTARIOS		
	SOPCO	GOTEO
| TOMATE |	SI	SI
| HABA |	SI	NO
| PAPA |	SI	NO
| COLIFLOR |	SI	NO
| BETARRAGA |	SI	NO

CUADRO 10
Superficies óptimas

	SUPERFICIES BAJO GOTIVO (MAYO - SEPTIEMBRE)				
	ESTADO 1	ESTADO 2	ESTADO 3	ESTADO 4	ESTADO 5
| GOTIVO |	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA
| HABA+SORC |	2,6 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA
| PAPA+SORC |	9,7 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA
| COLI+SORC |	0,0 HA	0,3 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA
| BETA+SORC |	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA	10,0 HA
| TOTAL |	32,3 HA	40,3 HA	50,0 HA	50,0 HA	50,0 HA

Los resultados contenidos en el Cuadro 10, se fundamentan, básicamente, en las siguientes razones:

- Relación beneficio/metro cubico usado

Los coeficientes correspondientes a esta época están contenidos en el Cuadro 11.

- Requerimientos hídricos por mes

- Cota de máxima superficie

- Superficie disponible de suelo

CUADRO 11

Relación beneficio/metro cúbico usado

Cultivo	Método de riego					
		mayo	junio	julio	agosto	septiembre
Tomate	- surco	-	235	259	250	278
Tomate	- goteo	-	482	532	513	570
Haba	- surco	-	79	-	86	45
Papa	- surco	131	130	68	67	-
Coliflor	- surco	-	51	54	56	-
Betarraga	- surco	127	123	125	409	-

La forma y secuencia en la cual los cultivos a parecen en la solución óptima, se basan en los mismos criterios que los definidos para la época septiembre-abril.

5.5 Requerimientos hídricos por estado y mes

En forma separada se indican los requerimientos hídricos durante las épocas septiembre-abril y mayo-septiembre (cuadros 12 y 13).

CUADRO 12

Requerimientos hídricos durante la épocaseptiembre-abril

LOS SIGUIENTES SON LOS METROS CUBICOS NECESARIOS POR MES Y
 POR ESTADO HIDRICO PARA REGAR EL TOTAL DE LA SUPERFICIE
 BAJO CULTIVO PARA LA EPOCA SEPTIEMBRE-ABRIL

	ESTADO HIDRICO 1	ESTADO HIDRICO 2	ESTADO HIDRICO 3	ESTADO HIDRICO 4	ESTADO HIDRICO 5
SEPT	13296,50	19617,75	28096,36	42060,09	64979,73
OCTO	35370,15	47159,22	62468,75	82111,62	153167,81
NOVI	35399,99	49841,99	67784,94	86086,87	169897,31
DICI	34214,99	39562,77	47152,92	62217,96	120348,44
ENER	23913,50	23913,50	23913,50	23913,50	55796,22
FEBR	27658,66	27658,66	27658,66	27658,66	35869,64
MARZ	11102,31	11102,31	11102,31	11102,31	11102,31
ABRI	12022,10	12022,10	12022,10	12022,10	12022,10
TOTAL	192378,00	233878,44	280199,31	347172,94	623183,37

CUADRO 13

Requerimientos hídricos durante la épocamayo-septiembre

Y LOS SIGUIENTES SON
 LOS RESPECTIVOS REQUERIMIENTOS DE AGUA
 PARA LOS MESES SIN DEFICIT DE ELLA
 (MAYO - SEPTIEMBRE)

	ESTADO HIDRICO 1	ESTADO HIDRICO 2	ESTADO HIDRICO 3	ESTADO HIDRICO 4	ESTADO HIDRICO 5
MAYO	22721,19	22944,14	22944,14	22944,14	22944,14
JUNI	37024,99	51690,99	65469,25	65469,25	65469,25
JULY	38029,99	38847,41	51488,96	51488,96	51488,96
AGOS	32721,70	46641,75	53970,39	58970,39	58970,39
SEPT	16289,12	41265,52	41265,52	41265,52	41265,52
TOTAL	146806,94	201589,75	240138,19	240138,19	240138,19

A partir del Cuadro 12 y, de las disponibilida
 des hídricas totales (Cuadro 11-2), se calcularon los
 excedentes hídricos por estado (Cuadro 14). El cál
 culo anterior sólo se hizo durante la época septiem
 bre-abril.

CUADRO 14

Excedentes hídricos por estado

Estado hídrico	Excedentes (metros cúbicos)
1	87.950
2	162.949
3	257.118
4	337.611
5	939.202

A partir de la observación del Cuadro 14 y, por el hecho que todos los estado hídricos presentan excedentes de agua, podría suponerse la no existencia de un déficit hídrico. Pero, los excedentes hídricos del cuadro anterior no consideran la distribución temporal del agua.

El Cuadro 15 contiene los excedentes hídricos por mes y estado, definiéndose cada uno de los valores contenidos en él, como la diferencia entre las disponibilidades hídricas (Cuadro 1-1) y los requerimientos de agua (Cuadro 12). En el Cuadro 15 pueden apreciarse claramente los orígenes de la situación de escasez que se planteó.

CUADRO 15

Excedentes hídricos mensuales(metros cúbicos)

	Estado hídrico				
	1	2	3	4	5
septiembre	29.468	40.254	64.285	60.568	114.652
octubre	3.915	7.896	13.508	9.059	0
noviembre	0	0	0	0	77.173
diciembre	0	11.075	23.741	27.816	223.584
enero	7.452	23.448	40.497	57.888	139.711
febrero	4.652	17.575	31.598	51.744	138.025
marzo	21.216	34.466	43.580	69,730	125.548
abril	21.248	28.238	63.976	61.201	120.511

En el Cuadro 15 se observa que durante cada estado hídrico existe, por lo menos, un mes que no presenta excedentes de agua. La no existencia de excedentes hídricos, implica que durante ese mes no se podrá aumentar la superficie bajo cultivo, definiendo ese mes sin excedentes, la mayor superficie que puede regarse y, por lo tanto, cultivarse.

5.6 Tasas de riego

En este punto se escriben los requerimientos hídricos mensuales por hectárea, de cada combinación cultivo-método de riego que el modelo definió en la solución óptima. Los resultados correspondientes, están contenidos en el Cuadro 16.

5.6.1 Requerimientos hídricos por estado, mes y cultivo

Estos resultados son el producto de multiplicar las tasas de riego por la superficie determinada de un cultivo durante cada estado.

Mediante esta expresión global de los requerimientos, pueden definirse ciertos criterios de distribución del agua (cuadros 17 y 18).

5.7 Calendario de riegos

Esta salida del modelo está contenida en el Cuadro 19.

CUADRO 16

Tasas de riego

TASAS DE RIEGO CULTIVOS PERIODO SEPTIEMBRE - ABRIL
(METROS CUBICOS POR HECTAREA)

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
IZANA+ASPE	0,0	2321,6	1538,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAIZ+SURC	0,0	4201,4	4068,8	2024,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ZAPA+SURC	1811,2	2114,9	3501,5	2755,4	3188,3	821,1	0,0	0,0
PEKS+SURC	877,9	2512,2	3190,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AJI +SURC	1578,6	2783,3	2593,3	2134,6	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITA+SURC	1318,3	2517,4	3089,7	1113,5	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITA+ASPE	858,1	1641,2	2001,3	726,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UVA +GOTE	701,2	619,6	1034,5	1813,5	1270,7	1469,7	589,9	638,8

TASAS DE RIEGO CULTIVOS PERIODO MAYO - SEPTIEMBRE
(METROS CUBICOS POR HECTAREA)

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
UCMA+GOTE	0,0	875,2	793,3	822,1	740,9
HABA+SURC	0,0	1915,8	0,0	1774,1	3385,6
PAPA+SURC	786,3	793,8	1513,7	1531,3	0,0
COLI+SURC	0,0	1401,7	1305,0	1272,7	0,0
BETA+SURC	1508,1	1558,5	1536,9	496,9	0,0

CUADRO 17
Requerimientos hídricos época
septiembre-abril

LOS SIGUIENTES SON LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS
 POR CULTIVO, MLS. METODO DE RIEGO Y
 ESTADO DE DISCHIBILIDAD HIDROLÓGICA
 (METROS CUBICOS)

| ESTADO 1 |

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ZANA+ASPE	0,0	23216,5	15388,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+ASPE	100,7	192,8	234,9	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0
DOVA+COYE	13195,8	11661,0	19478,3	34129,8	23913,5	27658,7	11102,3	12022,1

| ESTADO 2 |

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ZANA+ASPE	0,0	23216,5	15388,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+SORE	6321,3	12089,5	14742,0	5347,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+ASPE	100,7	192,8	234,9	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0
DOVA+COYE	13195,8	11661,0	19478,3	34129,8	23913,5	27658,7	11102,3	12022,1

| ESTADO 3 |

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ZANA+ASPE	0,0	23216,5	15388,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZAJ+SORE	1791,8	2520,6	2348,5	1933,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+SORE	13008,1	24878,1	30338,5	11004,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+ASPE	100,7	192,8	234,9	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0
DOVA+COYE	13195,8	11661,0	19478,3	34129,8	23913,5	27658,7	11102,3	12022,1

| ESTADO 4 |

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ZANA+ASPE	0,0	23216,5	15388,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZAJ+SORE	15755,5	22183,5	20650,5	16998,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+SORE	13008,1	24878,1	30338,5	11004,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+ASPE	100,7	192,8	234,9	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0
DOVA+COYE	13195,8	11661,0	19478,3	34129,8	23913,5	27658,7	11102,3	12022,1

| ESTADO 5 |

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ZANA+ASPE	0,0	23216,5	15388,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DOVA+COYE	0,0	42013,9	40149,1	26246,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZAJ+SORE	14112,1	21149,1	35013,3	27535,3	11382,7	6211,0	0,0	0,0
SUPER+SORE	777,1	2223,8	2424,0	3,0	3,0	3,0	0,0	0,0
ZAJ+SORE	19783,8	27833,1	25455,0	21346,4	3,0	3,0	3,0	3,0
ZITIA+SORE	13008,1	24878,1	30338,5	11004,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ZITIA+ASPE	100,7	192,8	234,9	85,2	0,0	0,0	0,0	0,0
DOVA+COYE	13195,8	11661,0	19478,3	34129,8	23913,5	27658,7	11102,3	12022,1

CUAORO 18
Requerimientos hídricos época
mayo-septiembre

.....Y LOS SIGUIENTES SON LOS RESPECTIVOS REQUERIMIENTOS
 PARA LOS CULTIVOS COMPLEMENTARIOS

"ESTADO 1"

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
TCMA+CCTE	0,0	8751,8	7933,3	8220,7	7409,2
IRABA+SCRC	0,0	3535,2	0,0	4253,1	8876,9
IPAPA+SCRC	7863,2	7713,3	12757,6	14879,1	0,0
IBETA+SCRC	15081,0	13584,7	13369,1	4968,8	0,0

"ESTADO 2"

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
TCMA+CCTE	0,0	8751,8	7933,3	8220,7	7409,2
IRABA+SCRC	0,0	19197,8	0,0	17740,9	33856,3
IPAPA+SCRC	7863,1	7933,3	15136,8	15513,3	0,0
ICCTE+SCRC	0,0	4327,5	438,2	358,1	0,0
IBETA+SCRC	15081,0	13584,7	13369,1	4968,8	0,0

"ESTADO 3"

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
TCMA+CCTE	0,0	8751,8	7933,3	8220,7	7409,2
IRABA+SCRC	0,0	19197,8	0,0	17740,9	33856,3
IPAPA+SCRC	7863,1	7933,3	15136,8	15513,3	0,0
ICCTE+SCRC	0,0	14312,8	13349,8	12726,6	0,0
IBETA+SCRC	15081,0	13584,7	13369,1	4968,8	0,0

"ESTADO 4"

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
TCMA+CCTE	0,0	8751,8	7933,3	8220,7	7409,2
IRABA+SCRC	0,0	19197,8	0,0	17740,9	33856,3
IPAPA+SCRC	7863,1	7933,3	15136,8	15513,3	0,0
ICCTE+SCRC	0,0	14312,8	13349,8	12726,6	0,0
IBETA+SCRC	15081,0	13584,7	13369,1	4968,8	0,0

"ESTADO 5"

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
TCMA+CCTE	0,0	8751,8	7933,3	8220,7	7409,2
IRABA+SCRC	0,0	19197,8	0,0	17740,9	33856,3
IPAPA+SCRC	7863,1	7933,3	15136,8	15513,3	0,0
ICCTE+SCRC	0,0	14312,8	13349,8	12726,6	0,0
IBETA+SCRC	15081,0	13584,7	13369,1	4968,8	0,0

CUADRO 19
Calendario de riegos

CALENARIO DE RIEGOS							
***** ZANAHORIA *****							
IRIEGO N° 1	IRIEGO N° 2	IRIEGO N° 3	IRIEGO N° 4	IRIEGO N° 5	IRIEGO N° 6	IRIEGO N° 7	IRIEGO N° 8
3 DE OCTUBRE	9 DE OCTUBRE	19 DE OCTUBRE	3 DE NOVIEMBRE	11 DE NOVIEMBRE	20 DE NOVIEMBRE	0	8
***** MAIZ *****							
IRIEGO N° 1	IRIEGO N° 2	IRIEGO N° 3	IRIEGO N° 4	IRIEGO N° 5	IRIEGO N° 6	IRIEGO N° 7	IRIEGO N° 8
6 DE OCTUBRE	14 DE OCTUBRE	22 DE NOVIEMBRE	1 DE NOVIEMBRE	10 DE NOVIEMBRE	20 DE NOVIEMBRE	5 DE DICIEMBRE	11 DE DICIEMBRE
IRIEGO N° 9	IRIEGO N° 10	IRIEGO N° 11	IRIEGO N° 12	IRIEGO N° 13	IRIEGO N° 14	IRIEGO N° 15	IRIEGO N° 16
19 DE DICIEMBRE	29 DE DICIEMBRE	0	0	0	0	0	0
***** ZAPALLO *****							
IRIEGO N° 1	IRIEGO N° 2	IRIEGO N° 3	IRIEGO N° 4	IRIEGO N° 5	IRIEGO N° 6	IRIEGO N° 7	IRIEGO N° 8
1 DE SEPTIEMBRE	9 DE SEPTIEMBRE	17 DE SEPTIEMBRE	27 DE SEPTIEMBRE	30 DE SEPTIEMBRE	5 DE OCTUBRE	11 DE OCTUBRE	17 DE OCTUBRE
IRIEGO N° 9	IRIEGO N° 10	IRIEGO N° 11	IRIEGO N° 12	IRIEGO N° 13	IRIEGO N° 14	IRIEGO N° 15	IRIEGO N° 16
24 DE OCTUBRE	1 DE NOVIEMBRE	9 DE NOVIEMBRE	18 DE NOVIEMBRE	27 DE NOVIEMBRE	4 DE NOVIEMBRE	22 DE NOVIEMBRE	27 DE NOVIEMBRE
IRIEGO N° 17	IRIEGO N° 18	IRIEGO N° 19	IRIEGO N° 20	IRIEGO N° 21	IRIEGO N° 22	IRIEGO N° 23	IRIEGO N° 24
2 DE DICIEMBRE	7 DE DICIEMBRE	12 DE DICIEMBRE	19 DE DICIEMBRE	25 DE DICIEMBRE	30 DE DICIEMBRE	6 DE ENERO	12 DE ENERO
IRIEGO N° 25	IRIEGO N° 26	IRIEGO N° 27	IRIEGO N° 28	IRIEGO N° 29	IRIEGO N° 30	IRIEGO N° 31	IRIEGO N° 32
21 DE ENERO	30 DE ENERO	6 DE FEBRERO	0	0	0	0	0
***** PEPINOS CYSALADA *****							
IRIEGO N° 1	IRIEGO N° 2	IRIEGO N° 3	IRIEGO N° 4	IRIEGO N° 5	IRIEGO N° 6	IRIEGO N° 7	IRIEGO N° 8
8 DE SEPTIEMBRE	16 DE SEPTIEMBRE	24 DE SEPTIEMBRE	3 DE OCTUBRE	14 DE OCTUBRE	20 DE OCTUBRE	28 DE OCTUBRE	4 DE NOVIEMBRE
IRIEGO N° 9	IRIEGO N° 10	IRIEGO N° 11	IRIEGO N° 12	IRIEGO N° 13	IRIEGO N° 14	IRIEGO N° 15	IRIEGO N° 16
10 DE NOVIEMBRE	17 DE NOVIEMBRE	24 DE NOVIEMBRE	0	0	0	0	0
***** AJI *****							
IRIEGO N° 1	IRIEGO N° 2	IRIEGO N° 3	IRIEGO N° 4	IRIEGO N° 5	IRIEGO N° 6	IRIEGO N° 7	IRIEGO N° 8
5 DE SEPTIEMBRE	13 DE SEPTIEMBRE	21 DE SEPTIEMBRE	1 DE OCTUBRE	8 DE OCTUBRE	11 DE OCTUBRE	15 DE OCTUBRE	20 DE OCTUBRE
IRIEGO N° 9	IRIEGO N° 10	IRIEGO N° 11	IRIEGO N° 12	IRIEGO N° 13	IRIEGO N° 14	IRIEGO N° 15	IRIEGO N° 16
25 DE OCTUBRE	30 DE OCTUBRE	4 DE NOVIEMBRE	9 DE NOVIEMBRE	14 DE NOVIEMBRE	19 DE NOVIEMBRE	25 DE NOVIEMBRE	1 DE DICIEMBRE
IRIEGO N° 17	IRIEGO N° 18	IRIEGO N° 19	IRIEGO N° 20	IRIEGO N° 21	IRIEGO N° 22	IRIEGO N° 23	IRIEGO N° 24
7 DE DICIEMBRE	13 DE DICIEMBRE	19 DE DICIEMBRE	0	0	0	0	0
***** ZAPALLO ITALIANO *****							
IRIEGO N° 1	IRIEGO N° 2	IRIEGO N° 3	IRIEGO N° 4	IRIEGO N° 5	IRIEGO N° 6	IRIEGO N° 7	IRIEGO N° 8
8 DE SEPTIEMBRE	16 DE SEPTIEMBRE	24 DE SEPTIEMBRE	1 DE OCTUBRE	11 DE OCTUBRE	18 DE OCTUBRE	1 DE NOVIEMBRE	10 DE NOVIEMBRE
IRIEGO N° 9	IRIEGO N° 10	IRIEGO N° 11	IRIEGO N° 12	IRIEGO N° 13	IRIEGO N° 14	IRIEGO N° 15	IRIEGO N° 16
19 DE NOVIEMBRE	29 DE NOVIEMBRE	0	0	0	0	0	0

El calendario de riegos es un aspecto muy importante dentro del proceso de planificación temporal de las actividades del predio.

Mediante este recurso, por un lado, se definen las fechas aproximadas durante las cuales los cultivos deberán ser regados y, por otro, se puede planificar, en forma anticipada, el uso oportuno de los recursos, de forma que ellos estén disponibles cuando el riego deba ser realizado.

5.8 Retornos económicos generados por el modelo

En el Cuadro 20, se observan los resultados provenientes del modelo de optimización. Corresponden a los resultados económicos de cada situación durante la cual se pronosticó un estado hídrico i y ocurrió un estado j.

CUADRO 20

Ingresos modelo de optimización

VALORES MODELO DE OPTIMIZACION (MILES DE PESOS)					
	J = 1	J = 2	J = 3	J = 4	J = 5
I = 1	7032.	7032.	7032.	7032.	7032.
I = 2	6330.	8305.	8305.	8305.	8305.
I = 3	5864.	7368.	9842.	9842.	9842.
I = 4	5184.	6688.	8538.	11331.	11331.
I = 5	4243.	5547.	7757.	9817.	16054.

En el Cuadro 20 se observan los efectos que producen los criterios seguidos cuando el estado hídrico pronosticado no coincide con el estado hídrico ocurrente. El primer criterio, es el seguido cuando ocurre un estado hídrico de mayor disponibilidad hídrica que el pronosticado, situación contenida en el sector a la derecha y arriba de la diagonal principal. En este caso, se considera que se genera un ingreso igual que la situación $i-j$ que corresponda. El segundo criterio, rige en la zona bajo y a la izquierda de la diagonal principal, en este caso, ocurre un estado hídrico de menor disponibilidad hídrica que el pronosticado. Cuando ocurre lo anterior, se definen dos estrategias, la primera, es la de mantener la superficie definida por el estado hídrico pronosticado, la segunda, es la de disminuir la superficie bajo cultivo hasta que ésta pueda ser regada en forma óptima, eligiéndose la estrategia mas rentable.

CUADRO 21

Ingresos esperados

		INGRESO ESPERADO (MILES DE PESOS)				
		J = 1	J = 2	J = 3	J = 4	J = 5
I = 1		7032.	7032.	7032.	7032.	7032.
I = 2		6989.	8023.	8305.	8305.	8305.
I = 3		6365.	7153.	9842.	9842.	9842.
I = 4		5285.	6473.	8538.	10982.	11331.
I = 5		4944.	5732.	7797.	9564.	16054.

Los resultados contenidos en el Cuadro 21, corresponden a la situación en la cual se ha incorporado la incertidumbre a los ingresos óptimos.

Varias son las consecuencias y conclusiones que pueden ser extraídas a partir de la matriz de ingresos esperados. En primer lugar, se puede observar el efecto de la incertidumbre. Si no existiera, ambos ingresos, el óptimo y el esperado, serían iguales.

Un aspecto muy interesante de ver, es el de la incidencia económica que tiene la incorporación de un modelo de pronósticos en el proceso de toma de decisiones. Para desarrollar el punto anterior, se comparan los ingresos esperados de tres estrategias.

- Estrategia N° 1.

Esta estrategia elige como criterio de decisión al esquema de cultivos definido durante el estado hídrico más seco. Esta estrategia genera un ingreso esperado de \$ 7.032.000, lo que es producto de la siguiente expresión:

$$\text{Ingreso esperado} = \sum_1^3 [\text{Ing}(1) \times \text{Prob}(j)]$$

donde:

$\text{Ing}(1)$ es el ingreso generado durante el estado hídrico más seco.

$\text{Prob}(j)$ probabilidad de ocurrencia del estado hídrico j (Cuadro I-81).

- Estrategia N° 2.

En esta estrategia se toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los estados hídricos, tomando como criterio de decisión al esquema de cultivos que genere, durante algún estado hídrico, el mayor ingreso esperado. El cálculo requeri

do en este punto es el siguiente:

$$\text{INGESP}(i) = \sum_j^J [\text{Ing}(i, j) \times \text{Prob}(j)]$$

donde:

$\text{INGESP}(i)$ ingreso esperado durante el estado hídrico i

$\text{Ing}(i, j)$ ingreso generado por el modelo cuando se pronostica el estado hídrico i y ocurre el estado j (Cuadro 20)

$\text{Prob}(j)$ probabilidad de ocurrencia del estado hídrico j, ver Cuadro 1-81.

A partir de la fórmula anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

CUADRO 22

Ingreso esperado de la estrategia N° 2

Estado hídrico	Ingreso esperado (miles de pesos)
1	7.032
2	8.068
3	8.672
4	8.735 (x)
5	8.433

En esta estrategia, el mayor ingreso esperado es el generado por el esquema de cultivos definido durante el estado hídrico 4, ya que asegura el mayor ingreso esperado.

- Estrategia N° 3.

Esta es la estrategia seguida por este trabajo y, consiste en incorporar a una serie de antecedentes extras, como es el modelo de pronósticos, como elementos incidentes dentro del proceso de toma de de

cisiones.

Para calcular el ingreso esperado, esta estrategia utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Ingreso esperado} = \sum_{i=1}^i [\text{Ing}(i,i) \times \text{Prob}(i)]$$

donde:

$\text{Ing}(i,i)$ ingreso esperado cuando ocurre un estado hídrico igual que el pronosticado (Cuadro 21).

$\text{Prob}(i)$ probabilidad de pronosticar el estado hídrico i (Cuadro I-82).

Esta estrategia genera un ingreso esperado de \$ 10.105.8000.

Haciendo un resumen de los ingresos esperados que generan las estrategias, se tiene:

CUADRO 23

Resumen de los ingresos esperados

	Ingreso esperado (miles de pesos)
Estrategia N° 1	7.032
Estrategia N° 2	8.735
Estrategia N° 3	10.105

Tal como se desprende del Cuadro 23, es la tercera de las estrategias la que genera el mayor ingreso esperado. Respecto de la primera de las estrategias se produce un 44% de aumento en el ingreso esperado, aumento que es del 16% respecto de la segunda de las estrategias.

Tomando como base a la tercera de las estrategias, se puede calcular, por un lado, cual es la incidencia económica de incorporar un modelo de pronósticos y, por otro, cual es el mayor nivel de inversión que puede ser destinado para mejorar el grado de exactitud del modelo de pronósticos utilizado.

El hecho de incorporar en la primera de las estrategias consideradas un modelo de pronósticos, produce un aumento de \$ 3.073.000 en sus ingresos esperados, aumento que es de \$ 1.370.000 si la incorporación se hace a la segunda de las estrategias. Mirado desde otro punto de vista, los valores anteriores son la mayor cantidad de dinero que puede ser invertida anualmente con el fin de contar con un modelo de pronósticos que tenga una eficiencia similar al modelo utilizado por este trabajo.

El segundo de los análisis planteados, es decir, el de calcular el mayor nivel de inversión que puede ser destinado anualmente para contar con un modelo de pronósticos exacto, se hace a partir de una situación en la cual ya existe un modelo de pronósticos con esa cualidad. Si lo anterior ocurre, sucederán dos hechos; el primero, es que el ingreso esperado (Cuadro 21) será igual al ingreso óptimo (Cuadro 20), el segundo hecho, será que la probabilidad de pronosticar un estado hídrico (Cuadro I-82) será igual a su probabilidad de ocurrencia (Cuadro I-81). Teniendo en consideración lo anterior, el ingreso esperado para la situación del modelo de pronósticos exacto al

canza a \$ 10.236.000. En otras palabras, puede invertirse hasta \$ 131.000 por año con objeto de hacer exacto al modelo de pronósticos. La importancia de lo anterior, radica en que el grado de incertidumbre está en relación al grado de exactitud del modelo de pronósticos; si éste es exacto, la incertidumbre desaparece, comenzando ésta a ser incidente a medida que el modelo de pronósticos presenta inexactitudes.

5.9 Análisis de sensibilidad

En esta parte se entrega una serie de antecedentes, anexos al proceso mismo de optimización. Estos antecedentes sirven, por un lado, para hacer proyecciones sobre futuros pasos a seguir y, por otro, indican los límites entre los cuales pueden oscilar los valores de las variables y que no produzcan una alteración de la solución óptima alcanzada.

5.9.1 Valor dual del agua

El valor dual, corresponde al costo imputado a este recurso en función de su escasez relativa. Se asigna un valor dual de \$ 0 a todos aquellos meses durante los cuales se producen excedentes hídricos. Además de entregar el valor dual, el modelo de programación lineal entrega el mayor rango de variación del recurso escaso que no alterará el valor dual obtenido (sensibilidad de recursos). Con el valor dual y, la mayor variación permitida, puede calcu

larse la mayor cantidad de dinero que puede ser invertida anualmente con el fin de disminuir la condición restrictiva de los meses críticos.

CUADRO 24

Valor dual del agua

```
*****
*****
*   DURANTE LOS MESES CRITICOS   *
* PUEDE PAGARSE HASTA $ 3.      *
* POR METRO CUBICO EXTRA DE     *
* DE AGUA.                       *
*                               *
*   EL VALOR ANTERIOR           *
* ES CONGRUENTE HASTA UN TOTAL  *
* DE 11378,5 METROS CUBICOS.    *
*                               *
*****
```

A partir del valor dual de \$ 3 y del límite de máxima variación, 11.379 metros cúbicos, se llega a un total de \$ 34.137 que se pueden invertir cada año con el fin de disminuir el efecto restrictivo de los meses críticos.

5.9.2 Análisis de la escasez hídrica

En este punto se identifican cuales son los meses críticos. El análisis se hace a partir de las holguras de las restricciones primales (Cuadro 15).

CUADRO 25

Meses críticos

```
*****
*****
*   EN EL SIGUIENTE CUADRO     *
* ESTAN REPRESENTADOS         *
* POR ESTADO HIDRICO          *
* LOS MESES DURANTE LOS CUALES *
* EL AGUA SE TRANSFORMA EN    *
* UN RECURSO LIMITANTE       *
*                               *
*****
```

ESTADO HIDRICO	MESES CRITICO
1	NOVIEMBRE
1	DICIEMBRE
2	NOVIEMBRE
3	NOVIEMBRE
4	NOVIEMBRE
5	OCTUBRE

```
*****
*****
```

5.9.3 Variaciones de los precios de venta

Mediante este análisis se toca, en forma tangencial, a otra importante fuente de incertidumbre, como son las variaciones en los precios de venta de los productos. En efecto, a cada cultivo considerado en la solución óptima, se le definen las mayores variaciones que pueden tener los precios de venta (cuadros I-5, I-47 y I-65) y, que no implique un cambio en la estructura recomendada de cultivos. Naturalmente, se da por entendido que la suposición anterior es consistente sólo si todos los otros elementos relacionados permanecen constantes.

Una línea de acción sugerida por este punto, consiste en comparar las mayores variaciones permitidas, con las variaciones características que presenta en el mercado el producto considerado. Si las fluctuaciones de precios que existen en la realidad, son mayores que las permitidas por la consistencia de la solución, convendrá modificar el precio de venta considerado, aumentándolo o disminuyéndolo, dependiendo del límite sobrepasado, buscando que el precio que ha sido redefinido se ubique dentro de un rango, que si bien puede no incluir en sí a toda la variación de precios que existe, por lo menos, aumente la cobertura del rango permitido.

CUADRO 26

Variaciones permitidas de precios

```

*****
*
*   LAS VARIACIONES DE PRECIO EXPRESADAS MAS ABAJO
*   SON LAS MAXIMAS QUE PUEDEN EXPERIMENTAR
*   LOS PRODUCTOS SIN ALTERAR
*   LA SOLUCION OPTIMA
*
*
*-----*-----*-----*-----*-----*
* | CULTIVO --- METODO --- VARIACION --- PRECIO --- VARIACION |
* |-----*-----*-----*-----*-----*
* | ZANAHORIA CON ASPERSION | - 6.8 <=== $ 1. ===> +****% |
* | MAIZ --- CON SURCO --- | -23.8 <=== $ 3. ===> +****% |
* | ZAPALLO --- CON SURCO --- | - 3.8 <=== $ 47. ===> +****% |
* |-----*-----*-----*-----*-----*
* | PEPINO --- CON SURCO --- | - 5.8 <=== $ 1. ===> + 26.8 |
* | AJI --- CON SURCO --- | -20.8 <=== $ 17. ===> +****% |
* |-----*-----*-----*-----*-----*
* | ZAPALLO --- CON SURCO --- | - 5.8 <=== $ 1. ===> + 39.8 |
* | ITALIANO --- CON SURCO --- | - 5.8 <=== $ 1. ===> + 39.8 |
* |-----*-----*-----*-----*-----*
* | ZAPALLO --- CON ASPERSION --- | -39.8 <=== $ 1. ===> + 7.8 |
* | ITALIANO --- CON ASPERSION --- | -39.8 <=== $ 1. ===> + 7.8 |
* |-----*-----*-----*-----*-----*
* | UVA MESA --- CON GOTEO --- | -26.8 <=== $ 22. ===> +****% |
* |-----*-----*-----*-----*-----*
*****

```

Para encontrar la razón de las variaciones de precios contenidas en el Cuadro 26, hay que recurrir al Cuadro 6. En éste, se divide por el valor de la relación B/A del cultivo correspondiente, según sea el caso, el valor inmediatamente superior de la relación B/A que presente uno de los cultivos relacionados o, el valor de la relación B/A que impide el establecimiento del cultivo considerado; en este caso, el cultivo problema es la uva, ya que consume la mayor parte de las disponibilidades hídricas que ocurren durante el mes de diciembre del estado hídrico más seco. Por cultivo relacionado se entiende a uno de los dos grupos considerados; los cultivos susceptibles de ser sometidos a una restricción igualitaria y, los cultivos que no son susceptibles de sufrir ese proceso.

En la última parte del proceso anterior, se multiplica el valor calculado, por la incidencia porcen

tual que tiene un cambio en el precio de venta sobre la variación porcentual de los beneficios (Cuadro I-85). Para clarificar lo que significan los valores contenidos en el Cuadro I-85, puede citarse el caso del maíz regado por surco que posee un valor de 0,89, indicando que para una variación del 100% de los beneficios, el precio de venta del maíz debe aumentar en un 89%.

Los cultivos que presentan un conjunto de asteriscos como cota superior, indican que ellos son insensibles a un aumento de los precios. En primer lugar, cuando un cultivo alcanza la superficie definida por la cota de máxima superficie, ningún aumento de los precios de venta provocará un aumento de la superficie bajo cultivo. Por su parte, la uva, cultivo que no está sometido a cota de máxima superficie, justifica su insensibilidad por el hecho que la superficie definida es la mayor que puede ser regada durante el estado hídrico más seco, por lo tanto, un aumento del precio de venta no producirá un incremento de la superficie cultivada.

Siguiendo el mismo razonamiento usado anteriormente para definir los rangos de variación de los precios de venta, puede calcularse cuál es el aumento que deben experimentar los precios de venta de las combinaciones cultivo-método de riego que no se consideran en la solución óptima y, que producirá que ellas entren en el esquema óptimo de cultivos. Las variaciones descritas anteriormente, están conte

nidas en el Cuadro 27.

CUADRO 27

Variaciones de los precios de venta
de los productos no considerados
en la solución óptima (%)

	surco	borde	aspersión	goteo
sandía	30	-	233	301
maíz	-	-	164	-
zapallo	-	-	169	139
pepino	-	-	109	292
ají	-	-	66	78
poroto	40	-	200	539
zapallo italiano	-	-	-	5
alfalfa	-	392	265	-
uva	67	-	-	-

Para entender los coeficientes incluidos en el Cuadro 27, puede citarse el caso de la sandía. Si el precio de venta aumentara un 30%, este cultivo desplazaría al pepino ensalada regado por surco, si el precio aumentara en un 233%, se desplazaría, además, a la uva regada por goteo.

6. CONCLUSIONES

- El modelo computacional desarrollado (RIEGOP) permite, por un lado, enfrentar una situación de escasez y, por otro, incorporar a la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones;
- la estadística bayesiana es una herramienta muy útil para enfrentar situaciones inciertas, ya que permite la obtención de indicadores económicos, los cuales son una guía importantísima cuando se consideran situaciones en las cuales se presentan procesos probabilísticos;
- mediante el uso de la programación lineal, se optimizaron los resultados de situaciones sometidas a múltiples restricciones, y
- a partir de la solución dual del modelo de programación lineal, se definió el costo imputado al agua, antecedente muy importante dentro del proceso de planificación predial.

7. RESUMEN

Se desarrolló un modelo computacional que simula el proceso de toma de decisiones, proceso que se desenvuelve dentro de un ambiente en el cual la disponibilidad de agua para el riego es la limitante principal, siendo la cuantía de esa disponibilidad un suceso desconocido. El modelo tiene por objetivo la maximización del ingreso esperado para la situación anteriormente planteada.

El modelo computacional, denominado RIEGOP, está escrito en lenguaje FORTRAN IV.

El esquema de funcionamiento del proceso de optimización, consiste en el establecimiento de una relación de tipo retroalimentada entre un modelo de programación lineal y uno de toma de decisiones.

El proceso de optimización desarrollado, define cual es la superficie de, uno o varios cultivos (anuales y/o permanentes) regados por un método específico (a presión o superficial), y que hace máximo el ingreso esperado para las condiciones planteadas. Además de lo anterior, se definen una serie de otras salidas, las cuales también explican la solución óptima alcanzada; estas salidas son:

- tasas de riego;
- requerimientos mensuales de agua;
- requerimientos globales de agua por cultivo;
- calendario de riegos;

- máximo volumen de inversión que puede ser destinado para disminuir la situación restrictiva, y
- sensibilidad de los precios.

La estructura dada al modelo también permite a veriguar cuál es el efecto que tiene sobre los resultados un cambio sucesivo en el precio, en los volúmenes disponibles o en la concentración de sales del agua.

La estructura modular con la cual se ha diseñado el modelo, hace que cualquier modificación al funcionamiento de éste sea un proceso rápido y sencillo.

7.1 Summary

A computational model (named RIEGOP), written in FORTRAN IV, was developed to deal with scarcity and uncertainty in water availability. The model simulates the behavior of a farmer who wants to maximize his income when he works in the given environment.

Basically, the model can be splitted in two parts. The first one, wich is constituted by a linear programming model that delivers information into a decision making model, optimizes the possible solution under the situation of scarcity. The second one, introduces the uncertainty into the results produced by the first part, using bayesian statistics.

The outputs generated by the model, can be sepa

rated in four parts:

- number of hectares for a given combination of crops and irrigation methods;
- characteristics of water requirements;
- economic results, and
- sensibility analysis.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ANDERSON, R. y MASS, A. 1971. A simulation of irrigation systems. United States Department Agriculture, Technical Bulletin Nº 1431. 69 p.
2. ASTABURUAGA, A. 1972. Evaluación social de un proyecto de riego utilizando programación lineal. Tesis Magister Economía Agraria. Santiago, Universidad Católica. 46 p.
3. BARROS, O. y GUMEZ, A. 1981. Modelos y sistemas de información para el análisis de políticas y toma de decisiones en sectores agroindustriales. Ingeniería de Sistemas 3(1): 5-19.
4. BAUMOL, E. 1974. Teoría económica y análisis de operaciones. Traducido por Ramón Palazón. México, Herrero Hermanos. 532 p.
5. BLANK, H. 1975. Functions to predict optimal irrigations programs. Journal of irrigation and drainage 101(1): 75-77.
6. BOULDING, K. y SPIVEY, W. 1961. Linear programming and the theory of the firm. New York, Mcmillan. 227.
7. BUCKLEY, S. 1964. Techniques of process control. New York, John Wiley. 304 p.

8. CACERES, F. 1981. Incidencia del riego por goteo en parronales. *Tecnología y Agricultura* no. 13: 2-6.
9. CALDENTEY, J. y PIZARRO, J. 1980. Evaluación y zonificación de los recursos climáticos de la IV Región de Chile. Tesis Ing. Forestal, Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. 197 p.
10. CERECEDA, J. y OTEGUI, I. 1981. Toylp: Comparación de métodos MPSX y Toylp. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 11 p.
11. CERVINI, H. 1972. Técnicas de planificación: Aplicación de un modelo de decisión para el sector agrícola chileno con comercio internacional. Tesis Magister Economía Agraria. Santiago, Universidad Católica. 126 p.
12. CORTADA DE KDHAN, N. y CARRO, J. 1970. Estadística aplicada. Buenos Aires, Universitaria de Buenos Aires. 368 p.
13. COVACEVICH, R. y LABBE, P. 1980. Estudio de rentabilidad de un huerto de 10 ha de uva Sultanina. *Tecnología y Agricultura* no. 6: 12-21.
14. _____. 1980. Estudio de rentabilidad en alfalfa. *Tecnología y Agricultura* no. 9: 27-33.

15. CHILE. COMISION NACIONAL DE RIEGO. 1979. Estudio integral de riego de los valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca. Nivel de factibilidad. Tomo 4. Santiago. p. irr.
16. _____. CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION- INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. 1975. Insumos y riego en la agricultura para sectores de riego en el departamento de Arica y las provincias de Coquimbo a Linares. 406 p.
17. _____. CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION. 1978. Análisis de producción y mercadeo de la especie uva de mesa. Gerencia de Desarrollo. 234 p.
18. _____. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1979. Estudio de necesidades de agua y eficiencia de riego en el valle de Elqui. 96 p.
19. _____. INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES. 1967. Estimación de los recursos agropecuarios del valle del río Elqui. 34 p.
20. _____. _____. 1978. Estudio de las comunidades agrícolas de la IV Región. Informe final. Tomo 2. 155 p.
21. _____. _____. 1979. Investigación de los recursos hidráulicos en la IV Región. Calidad química de las aguas de la IV Región. 75 p.

22. CHILE. OFICINA DE PLANIFICACION AGRICOLA. 1981. Estudio de rentabilidad de la uva de mesa. Agroinformativo sectorial no. 12: 7-15.
23. _____. OFICINA DE PLANIFICACION NACIONAL. 1980. Procedimientos y formularios para el sistema de estadísticas básicas de inversión. Ministerio de Hacienda. Dirección de Presupuesto. p. irr.
24. DEAN, G. y FINCH, A. 1966. Economic strategies for foothill beef cattle ranchers. California agricultural experiment station, Bulletin 824. 47 p.
25. DILLON, J. y OFFICER, R. 1971. Economic v. statistical significance in agricultural research and extension. A pro-bayesian view. The farm economist 12(1): 31-45.
26. DORFMAN, R.; SAMUELSON, P. y SOLON, R. 1964. Programación lineal y análisis económico. Traducido por Anselmo Calleja. Madrid, Aguilar. 572 p.
27. DOORENBOS, J. y KASSAM, A. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage paper 23. 176 p.
28. EIDMAN, V.; DEAN, G. y CARTER, H. 1967. An application of statistical decision theory to commercial turkey production. Journal of farm economics 49(4): 852-868.

29. ESPILODORA, B. y ARRAU, L. 1977. Modelo de decisiones para la asignación regional de agua de riego en una cuenca. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Obras civiles. p. irr.
30. FELMER, J. 1974. Tarificación al volumen del agua de riego. Tesis Ing. Comercial, Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. 200 p.
31. FERGUSON, G. 1969. Teoría microeconómica. México, Fondo de Cultura Económica. 456 p.
32. FERRATER, J. 1970. Diccionario de filosofía abreviado. Buenos Aires, Sudamericana. 478 p.
33. FONTAINE, E. 1981. Evaluación social de proyectos. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Instituto de Economía. 403 p.
34. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1976. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper N° 29. 97 p.
35. FRANCISCO, E. et al. 1980. Política de aguas. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento de Economía Agraria, Panorama Económico de la agricultura no. 9: 3-9.
36. GORDON, G. 1969. Principles of operations research. New Jersey, Prentice Hall. p. irr.

37. GOTTFRIED, B. 1972. Programming with FORTRAN IV. New York, Quantum. 272 p.
38. _____. y WEISSMAN, J. 1973. Introduction to optimization theory. New Jersey, Prentice Hall. 570 p.
39. GUILLAMAUD, L. 1971. Cibernética y lógica dialéctica. Madrid, Artiach. 227 p.
40. HALL, W. y BUTCHER, W. 1968. Optimal timing of irrigation. Journal of irrigation and drainage 96(2): 267-275.
41. INSTITUTO DE PROMOCION AGRARIA. 1969. Plan de área de La Serena. Santiago. 280 p.
42. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. 1974. Enfoque de sistemas en la investigación ganadera. Montevideo. 98 p.
43. INTERNATIONAL BUSINESS MACHINE CORPORATION. 1968. Flowcharting techniques. New York. 34 p.
44. _____. 1980. Comandos de EDGAR. Santiago. 20 p.
45. ISENSEE, P.; ESPILDORA, B. y AHUMADA, G. 1977. Modelo de pronósticos de caudales de deshielo en la cuenca del río Elqui. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Obras Civiles. 287 p.

46. ISRAELSEN, D. y HANSEN, V. 1973. Principios y aplicaciones del riego. Traducido por Alberto García. Barcelona, Reverte. 369 p.
47. KREITZBERG, C. y SHNEIDERMAN, B. 1972. The elements of FORTRAN style. New York, Harcourt-Brace-Jovanovich. 122 p.
48. LESOURNE, J. 1964. Técnica económica y gestión industrial. Madrid, Aguilar. 630 p.
49. LUTHE, R. 1976. Lenguaje FORTRAN IV. México, Limusa. 40 p.
50. MAJLUF, J. 1976. MPS. Procedimientos mas usuales con ejemplos. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Industrias. 100 p.
51. MANCILLA, A. 1979. Programación lineal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento Ganadería y Producción Pratense. Publicación Docente N° 5. 32 p.
52. MAYNARD, H. 1968. Manual de ingeniería de la producción industrial. Barcelona, Reverte. p. irr.
53. MCCRAKEN, D. y DORN, W. 1974. Métodos numéricos y programación FORTRAN. México, Limusa. 476 p.
54. _____. 1978. Programación Fortran IV. México, Limusa. 272 p.

55. MOORE, CH. 1961. A general analytical framework for estimating the productions for crops using water. *Journal of Farm Economics* 43(3): 876-888.
56. PALMA, A. et al. 1981. Análisis de alternativas de uso óptimo de los recursos agua y tierra en la cuenca del río Aconcagua - Chile. *Ingeniería de Sistemas* 3(1): 85-124.
57. PLUMB, S. 1964. *Introduction to FORTRAN*. New York, McGraw-Hill. 204 p.
58. RAE, A. 1971. An empirical evaluation of discrete stochastic programming in farm management. *American Journal of Agricultural Economics* 53(4): 625-638.
59. RATTRAY, G. 1975. *El juicio final*. Traducido por Fernando Corripio. Barcelona, Bruguera. 434 p.
60. SCHLAIFER, R. 1959. *Probability and statistics for business decision*. New York, McGraw-Hill. 710 p.
61. SPIVEY, W. y THRALL, R. 1970. *Linear optimization*. New York, Holt, Rinehart and Winston. 530 p.
62. UNIVERSIDAD DE CHILE - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1980. *Enfoque de sistemas en la investigación ganadera*. Santiago. p. irr.

63. UNIVERSIDAD DEL NORTE. 1980. Informe final proyecto factibilidad agroeconómica de cultivos no tradicionales, y nuevas técnicas para la IV Región. Coquimbo, Centro de Investigaciones y Capacitación. 234 p.
64. UNIVERSITY OF WATERLOO. 1977. Watfiv V1L5, user's guide. Ontario, Waterloo. 117 p.
65. URIS, A. 1976. La guía del ejecutivo. México, Logos Consorcio. 350 p.
66. VOLOSKY, E. 1974. Hortalizas, cultivo y producción en Chile. Santiago, Universitaria. 352 p.
67. WAGNER, H. 1969. Principles of operation research. New Jersey, Prentice-Hall. p. irr.
68. WHYTE, L.; WILSON, L. y WILSON, D. 1973. Las estructuras jerárquicas. Madrid, Alianza Universidad. 347 p.

APENDICE I

I-1. COEFICIENTES DEL MODELO

I-1.1 Disponibilidades hídricas

CUADRO I-1

Disponibilidades hídricas mensuales (m³)

	Estado hídrico 1	Estado hídrico 2	Estado hídrico 3	Estado hídrico 4	Estado hídrico 5
Septiembre	42.765	59.871	92.381	102.646	179.631
Octubre	38.985	55.055	75.976	91.171	153.168
Noviembre	35.100	49.842	67.785	86.087	247.070
Diciembre	34.215	50.638	70.894	90.034	343.932
Enero	31.365	47.361	64.411	81.802	195.507
Febrero	32.310	45.234	59.257	79.403	173.894
Marzo	32.318	45.568	54.682	80.382	136.650
Abril	33.270	40.258	51.931	73.223	132.533
Mayo	33.278	46.589	63.361	81.103	184.103
Junio	37.065	51.891	70.572	90.332	205.053
Julio	38.010	53.214	72.371	92.635	210.281
Agosto	39.915	55.881	75.998	97.278	220.820

CUADRO I-2

Disponibilidades hídricas épocaseptiembre - abril (m³)

Estado hídrico 1	Estado hídrico 2	Estado hídrico 3	Estado hídrico 4	Estado hídrico 5
280.328	393.827	537.317	684.784	1.562.385

CUADRO I-3

Disponibilidades hídricas épocamayo - septiembre (m³)

Estado hídrico 1	Estado hídrico 2	Estado hídrico 3	Estado hídrico 4	Estado hídrico 5
191.033	267.446	374.683	463.994	999.888

I-1.2 Rendimientos

CUADRO I-4

Rendimientos

	Surco	Aspersión	Goteo
Sandía (1)	12.000	13.000	15.000
Zanahoria (1)	500.000	550.000	-
Maíz (1)	90.000	100.000	-
Zapallo (1)	5.000	5.500	6.300
Pepino			
Ensalada (1)	160.000	176.000	200.000
Aji (2)	20	22	25
Poroto (2)	6,5	7,2	8,1
Zapallo			
Italiano (1)	360.000	375.000	450.000
Tomate (2)	33	-	45
Haba (2)	9	-	-
Papa (2)	20	-	-
Coliflor (2)	16	-	-
Betarraga (2)	30	-	-

(1) unidades por hectárea (2) toneladas por hectárea

I-1.3 Precios

CUADRO I-5

Precios

Producto	Precio con IVA
Sandía	19 (1)
Zanahoria	0,6 (1)
Maíz	3,5 (1)
Zapallo	56 (1)
Pepino	
ensalada	1,7 (1)
Aji	20 (2)
Poroto	24 (2)
Zapallo	
italiano	1,2 (1)
Tomate	18,5 (2)
Haba	27 (2)
Papa	13,2 (2)
Coliflor	12 (2)
Betarraga	10 (2)

(1) pesos por unidad (2) miles de pesos por tonelada

I-1.4 Costos de producciónI-1.4.1 Riego por surco

CUADRO I-6

Sandía

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
Jornadas hombre (J.H.)	126	220	27.720	-
Jornadas máquina (J.M.)	1,9	2.200	4.180	-
Jornadas animal (J.A.)	10	170	1.700	283
Semilla	4	600	2.400	400
Fertilizante				
- Salitre	360	10	3.600	600
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas (1)	-	-	2.654	442
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	2.323	-
Total			48.777	2.425

(1) Ver cuadros I-7 y I-8

CUADRO I-7

Pesticidas necesarios

	Sandía	Zanahoria	Maíz	Zapallo	Aji	Poroto	Pepino Ensalada	Zapallo Italiano	Tomate	Haba	Papa	Coliflor	Betarraga
<u>Insecticidas</u>													
Aldrin (1)	6	4	4	3	6	4	4	4	6	4	4	4	6
Diazinon 60-E (2)			1	0,7			0,8		0,8				0,7
Furadán 75 (1)		1,5	2			1,6	1,8				1,5		1,6
Gusathion 40 (2)	0,8			1	0,9			1,1	1,1	0,9		0,8	
Lannate (1)					0,6		0,5		0,5				
Metasystox R-25(2)	0,7			0,7	0,8		1	0,7	0,9			1	
Regor L40 (2)							1,3						
Tamaron 600 (2)			0,8								1		
Thiodan S (1)											1		1,2
<u>Fungicidas</u>													
Benlate (1)		1,2		1,1	0,5	0,6		1,1	0,6			1	
Brassicol 75 (1)		8							15			10	10
Dithane M-45 (1)	1,5				2,1	1,1	2,1		2,5	2,6	3		
Oxicup (1)								4		3			
<u>Acaricidas</u>													
Acarthane (2)				1,8		1,5		1,8	1,8				
Kelthane (2)					1		1						
<u>Herbicidas</u>													
Afelon (1)		1,5									3		
Atrazina (1)			2										
Planavin (1)		1											
Gesaprim D80 (1)			2										
<u>Desinfectantes</u>													
Haltox (3)									9				
Agallol (1)					0,8						0,8	0,7	

(1) kg/ha (2) l/ha (3) envases/ha

CUADRO I-8

Costo de los pesticidas

	Precio unitario	Sandia	Zanahoria	Maiz	Zapallo	Poroto	Pepino Ensalada	Aji	Zapallo Italiano	Tomate	Haba	Papa	Coliflor	Betarraga
Insecticidas														
Aldrin	200	1200	800	800	600	800	800	1200	800	1200	800	800	800	1200
Diazinon 60-E	780			780			624	546		624				546
Furadan 75	1300		1950	2600		2080	2340					1950		2080
Gusathion 40	680	544			680			612	748	748	612			
Lannate	1280						640	768		640				
Metasystox R-25	850	595			595		850	680	595	765			850	
Rogor 440	380						494							
Tamaron 600	1000			800								1000		
Thiodan	665											665		
Sub-total		2339	2750	4980	1875	2880	5748	3806	2143	3977	1412	4415	1650	4624
Fungicidas														
Benlate	1300		1560		1430	780	750	750	1430	780			1300	
Brassicol 75	415		3320										4150	4150
Dithane M-45	210	315				232	436	430		525	546	630		
oxicup	160								640		480			
Sub-total		315	4880	0	1430	1012	1180	1180	2070	1305	1026	630	5450	4150
Acaricidas														
Acarthane	300				540	450			540	540				
Kelthane	770						770	770						
Sub-total		0	0	0	540	450	770	770	540	540	0	0	0	0
Herbicidas														
Afalon	1400		2100									4200		
Atrazina	350			700										
Gesaprim 080	500			1000										
Planavin	1900		1900											
Sub-total		0	4000	1700	0	0	0	0	0	0	0	4200	0	0
Desinfectantes														
Agallol	405							324				324	284	
Haltax	205									2250				
Sub-total		0	0	0	0	0	0	324	0	2250	0	324	284	0
Total		2654	11630	6680	3845	4342	7698	6080	4753	8072	2438	9569	7384	8774

CUADRO I-9

Maiz

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	35	220	7.700	-
J.M.	2,5	2.200	5.500	-
J.A.	2,5	170	425	71
Semilla	23	-	1.200	200
Fertilizante				
- Salitre	520	10	5.200	867
- S.F.T.	260	16	4.160	693
Pesticidas	-	-	6.680	1.113
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	1.593	-
Total			33.458	3.111

CUADRO I-10

Pepino ensalada

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	330	220	72.600	-
J.M.	4	2.200	8.800	-
J.A.	8	170	1.360	227
Semilla	3,5	364	1.274	212
Fertilizante				
- Salitre	230	10	2.300	383
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	7.698	1.283
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	4.992	-
Total			104.824	3.072

CUADRO I-11

Zapallo

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	90	220	19.800	-
J.M.	2,8	2.200	6.160	-
J.A.	12	170	2.040	340
Semilla	7,5	330	2.475	413
Fertilizante				
- Salitre	200	10	2.000	333
- S.F.T.	120	16	1.920	320
Pesticidas	-	-	3.845	641
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	1.962	-
Total			41.202	2.214

CUADRO I-12

Ají

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	384	220	84.480	-
J.M.	2,4	2.200	5.280	-
J.A.	7,2	170	1.224	204
Semilla	1,5	1.090	1.635	273
Fertilizante				
- Salitre	500	10	5.000	833
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	6.080	1.013
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	5.475	-
Total	-	-	114.973	3.290

CUADRO I-13

Poroto

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	120	220	26.400	-
J.M.	2,8	2.200	6.160	-
J.A.	3,5	170	595	99
Semilla	120	60	7.200	1.200
Fertilizante				
- Salitre	250	10	2.500	417
- S.F.T.	160	16	2.560	427
Pesticida	-	-	4.342	723
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	2.538	-
Total	-	-	53.295	3.033

CUADRO I-14

Zapallo italiano

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	290	220	63.800	-
J.M.	2,6	2.200	5.720	-
J.A.	7,2	170	1.224	204
Semilla	4,5	350	1.575	263
Fertilizante				
- Salitre	390	10	3.900	650
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas	-	-	4.753	792
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	4.259	-
Total	-	-	89.431	2.609

CUADRO I-15

Tomate

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	420	220	92.400	-
J.M.	3,5	2.200	7.700	-
J.A.	8,0	170	1.360	227
Semilla	0,8	1.000	800	133
Fertilizante				
- Salitre	700	10	7.000	1.167
- S.F.T.	340	16	5.440	907
Pesticidas	-	-	8.072	1.345
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	6.189	-
Total			129.961	3.946

CUADRO I-16

Haba

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	110	220	24.200	-
J.M.	2,6	2.200	5.720	-
J.A.	4	170	680	113
Semilla	50	100	5.000	833
Fertilizante				
- Salitre	220	10	2.200	367
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	2.438	406
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	2.302	-
Total			48.340	2.686

CUADRO I-17;

Papa

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	118	220	25.960	-
J.M.	2,8	2.200	6.160	-
J.A.	7,2	170	1.224	204
Semilla	2.000	28	56.000	9.333
Fertilizante				
- Salitre	700	10	7.000	1.167
- S.F.T.	340	16	5.440	907
Pesticidas	-	-	9.569	1.596
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	5.639	-
Total			117.992	13.378

CUADRO I-18

Coliflor

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	190	220	41.800	-
J.M.	3,0	2.200	6.600	-
J.A.	7,2	170	1.224	204
Semilla	7,0	2.200	15.400	2.567
Fertilizante				
- Salitre	380	10	3.800	633
- S.F.T.	290	16	4.640	773
Pesticidas	-	-	7.384	1.225
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	4.092	-
Total			85.940	5.569

CUADRO I-19

Betarraga

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	90	220	19.800	-
J.M.	4	2.200	8.800	-
J.A.	2,5	170	425	71
Semilla	12	630	7.560	1.260
Fertilizante				
- Salitre	320	10	3.200	533
- S.F.T.	240	16	3.840	640
Pesticidas	-	-	8.774	1.462
Flete insumos	-	-	1.000	167
Imprevistos (5%)	-	-	2.670	-
Total			56.069	4.133

I-1.4.2 Riego por aspersión

CUADRO I-20

Sandía

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	120	220	26.400	-
J.M.	1,8	2.200	3.960	-
J.A.	9,5	170	1.615	269
Semilla	4	600	2.400	400
Fertilizante				
- Urea	103	13.3	1.370	228
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas (1)	-	-	2.654	442
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	4.860	-
Total			102.066	8.722

(1) Ver cuadros I-7 y I-8

CUADRO I-21

Zanahoria

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	171	220	37.620	-
J.M.	3,1	2.200	6.820	-
J.A.	6,7	170	1.139	190
Semilla	7	380	2.660	443
Fertilizante				
- Urea	143	13.3	1.902	317
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas	-	-	11.630	1.938
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	4.339	-
Total			91.117	10.671

CUADRO I-22

Maiz

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	33	220	7.260	-
J.M.	2,4	2.200	5.820	-
J.A.	2,4	170	408	68
Semilla	23	-	1.200	200
Fertilizante				
- Urea	149	13.3	1.982	330
- S.F.T.	260	16	4.160	693
Pesticidas	-	-	6.680	1.113
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	4.132	-
Total			86.769	9.654

CUADRO I-23

Zapallo

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	86	220	18.920	-
J.M.	2,7	2.200	5.940	-
J.A.	11,4	170	1.938	323
Semilla	7,5	330	2.475	413
Fertilizante				
- Urea	57	13.3	758	126
- S.F.T.	120	16	1.920	320
Pesticidas	-	-	3.845	641
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	4.573	-
Total			96.063	9.073

CUADRO I-24

Pepino ensalada

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	313	220	68.860	-
J.M.	3,8	200	8.360	-
J.A.	7,6	170	1.292	215
Semilla	3,5	364	1.274	212
Fertilizante				
- Urea	65	13.3	865	144
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	7.698	1.283
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	7.441	-
Total			156.257	9.904

CUADRO I-25

Ají

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	365	220	80.300	-
J.M.	2,3	2.200	5.060	-
J.A.	6,8	170	1.156	193
Semilla	1,5	1.090	1.635	273
Fertilizante				
- Urea	143	13.3	1.902	317
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	6.080	1.013
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	7.830	-
Total			164.430	9.846

CUADRO I-26

Poroto

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	114	220	25.080	-
J.M.	2,7	2.200	5.940	-
J.A.	3,3	170	561	94
Semilla	120	60	7.200	1.200
Fertilizante				
- Urea	71	13.3	944	157
- S.F.T.	160	16	2.560	427
Pesticidas	-	-	4.342	723
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	5.115	-
Total			107.409	9.851

CUADRO 1-27

Zapallo italiano

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	276	220	60.720	-
J.M.	2,5	2.200	5.500	-
J.A.	6,8	170	1.156	193
Semilla	4,5	350	1.575	263
Fertilizante				
- Urea	111	13.3	1.476	246
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas	-	-	4.753	792
Dirección técnica	-	-	7.500	-
Equipo de riego	-	-	40.000	6.667
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	2.000	333
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	2.667	-
Imprevistos (5%)	-	-	6.702	-
Total			140.749	9.277

I-1.4.3 Riego por goteo

CUADRO I-28

Sandía

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	113	220	24.860	-
J.M.	1,5	2.200	3.300	-
J.A.	8	170	1.360	227
Semilla	4	600	2.400	400
Fertilizante				
- Urea	45	13.3	599	100
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas	-	-	2.654	442
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	200.000	33.333
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	40.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	14.749	-
Total	-	-	310.667	35.285

CUADRO I-29

Zapallo

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	81	220	17.820	-
J.M.	2	2.200	4.400	-
J.A.	9	170	1.530	255
Semilla	7,5	330	2.475	413
Fertilizante				
- Urea	26	13.3	346	58
- S.F.T.	120	16	1.920	320
Pesticidas	-	-	3.845	645
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	200.000	33.333
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	40.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	14.492	-
Total	-	-	304.328	35.270

CUADRO I-30

Pepino ensalada

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	290	220	64.380	-
J.M.	2	2.200	4.400	-
J.A.	5	170	850	142
Semilla	3,5	364	1.274	212
Fertilizante				
- Urea	25	13.3	333	55
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	7.698	1.283
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	240.000	40.000
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	48.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	19.462	-
Total			408.697	42.742

CUADRO I-31

Ají

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	346	220	76.120	-
J.M.	1,5	2.200	3.300	-
J.A.	6	170	1.020	170
Semilla	1,5	1.090	1.635	273
Fertilizante				
- Urea	61	13.3	811	135
- S.F.T.	300	16	4.800	800
Pesticidas	-	-	6.080	1.013
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	240.000	40.000
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	48.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	20.163	-
Total			423.429	42.641

CUADRO I-32

Poroto

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	108	220	23.760	-
J.M.	1,8	2.200	3.960	-
J.A.	2	170	340	57
Semilla	120	60	7.200	1.200
Fertilizante				
- Urea	36	13.3	479	80
- S.F.T.	160	16	2.560	427
Pesticidas	-	-	4.342	723
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	240.000	40.000
Flete insumos	-	-	1.500	250
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Depreciación	-	-	48.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	17.608	-
Total			369.748	42.737

CUADRO I-33

Zapallo italiano

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	260	220	57.200	-
J.M.	1,8	2.200	3.960	-
J.A.	6	170	1.020	170
Semilla	4,5	330	1.485	248
Fertilizante				
- Urea	48	13.3	638	106
- S.F.T.	200	16	3.200	533
Pesticidas	-	-	4.753	792
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	240.000	40.000
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	48.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	19.088	-
Total			400.844	42.099

CUADRO I-34

Tomate

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
J.H.	378	220	83.160	-
J.M.	1.6	2.200	3.520	-
J.A.	5	170	850	142
Semilla	0.8	2.990	2.392	399
Fertilizante				
- Urea	76	13.3	1.011	169
- S.F.I.	340	16	5.440	907
Pesticidas	-	-	8.072	1.345
Dirección técnica	-	-	8.000	-
Equipo de riego	-	-	240.000	40.000
Energía eléctrica	-	-	2.000	-
Mantenimiento equipo	-	-	6.000	-
Flete insumos	-	-	1.500	250
Depreciación	-	-	48.000	-
Imprevistos (5%)	-	-	20.578	-
Total	-	-	432.131	43.212

I-1.5 BeneficiosI-1.5.1 Riego por surco

CUADRO I-35

Ingresos brutos

	Ingresos (1)(2)	IVA
Sandía	228	38
Zanahoria	300	50
Maiz	315	53
Zapallo	280	47
Pecino		
ensalada	272	45
AjÍ	400	67
Poroto	156	26
Zapallo		
italiano	432	72
Tomate	594	99
Haba	243	41
Papa	264	44
Coliflor	192	32
Betarraga	300	50

(1) miles de pesos por hectárea

(2) producto de los cuadros I-4 y I-5

CUADRO I-36

I.V.A. neto

	IVA débito	IVA crédito	IVA neto
Sandía	38	2	(36)
Zanahoria	50	4	(46)
Maiz	53	3	(50)
Zapallo	47	2	(45)
Pepino			
ensalada	45	3	(42)
AjÍ	67	3	(64)
Poroto	26	3	(23)
Zapallo			
italiano	72	3	(69)
Tomate	99	4	(95)
Haba	41	3	(38)
Papa	44	13	(31)
Coliflor	32	6	(26)
Betarraga	50	4	(46)

CUADRO I-37

Beneficios netos

	Ingresos	Costos directos	Costos indirectos (1)	IVA neto	Beneficio neto
Sandía	228	49	5	(36)	138
Zanahoria	300	75	8	(46)	171
Maiz	315	33	3	(50)	229
Zapallo	280	41	4	(45)	190
Pepino					
ensalada	272	104	10	(42)	116
AjÍ	400	114	11	(64)	211
Poroto	156	53	5	(23)	75
Zapallo					
italiano	432	89	9	(69)	265
Tomate	594	130	13	(95)	356
Haba	243	48	5	(38)	152
Papa	264	118	12	(31)	103
Coliflor	192	86	9	(26)	71
Betarraga	300	56	6	(46)	192

(1) 10% de los costos directos

I-1.5.2 Riego por aspersión

CUADRO I-38

Ingresos brutos

	Ingresos (1)(2)	IVA	Valor residual	IVA valor residual
Sandía	247	41	37	6
Zanahoria	330	55	37	6
Maiz	350	58	37	6
Zapallo	308	51	37	6
Pepino				
ensalada	299	50	37	6
AjÍ	440	73	37	6
Poroto	173	29	37	6
Zapallo italiano	450	75	37	6

(1) miles de pesos por hectárea (2) producto de los cuadros I-4 y I-5

CUADRO I-39

I.V.A. neto

	IVA débito	IVA crédito	IVA neto
Sandía	47	9	(36)
Zanahoria	61	11	(50)
Maiz	64	10	(54)
Zapallo	57	9	(48)
Pepino			
ensalada	56	10	(46)
AjÍ	79	10	(69)
Poroto	35	10	(25)
Zapallo italiano	81	9	(72)

CUADRO I-40

Beneficios netos

	Ingresos	Costos directos	Costos indirectos(1)	IVA neto	Beneficio neto
Sandía	284	102	10	(36)	136
Zanahoria	367	91	9	(50)	217
Maiz	387	87	9	(54)	237
Zapallo	345	96	10	(48)	191
Pepino					
ensalada	336	156	16	(46)	118
AjÍ	477	164	16	(69)	228
Poroto	210	107	11	(25)	67
Zapallo italiano	487	141	14	(72)	260

(1) 10% de los costos directos

I-1.5.3 Riego por goteo

CUADRO I-41

Ingresos brutos

	Ingresos(1)(2)	IVA	Valor residual	IVA valor residual
Sandía	285	48	160	27
Zapallo	353	59	160	27
Pepino				
ensalada	340	57	192	32
AjÍ	500	83	192	32
Poroto	194	32	192	32
Zapallo				
italiano	540	90	192	32
Tomate	833	139	192	32

(1) miles de pesos por hectárea

(2) producto de los cuadros I-4 y I-5

CUADRO I-42

I.V.A. neto

	IVA débito	IVA crédito	IVA neto
Sandía	75	35	(40)
Zapallo	86	35	(51)
Pepino			
ensalada	89	43	(46)
AjÍ	115	43	(72)
Poroto	64	43	(21)
Zapallo			
italiano	122	42	(80)
Tomate	171	43	(128)

CUADRO I-43

Beneficios netos

	Ingresos	Costos directos	Costos indirectos(1)	IVA neto	Beneficio neto
Sandía	445	310	31	(40)	64
Zapallo	513	304	30	(51)	128
Pepino					
ensalada	532	409	41	(46)	36
AjÍ	692	423	42	(72)	155
Poroto	380	370	37	(21)	(42)
Zapallo					
italiano	732	401	40	(80)	211
Tomate	1.025	432	43	(128)	422

I-1.6 AlfalfaI-1.6.1 Riego por bordes

CUADRO I-44

Inversión año 0

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total (1)	IVA (1)
Mano de obra	20	220	4,4	-
Maquinaria				
- Preparación del suelo	4	2.200	8,8	-
- Micronivelación	0,4	2.200	0,88	-
Fertilizante				
- Salitre	90	10	0,9	0,15
- S.F.T.	200	16	3,2	0,53
Pesticida				
- Aldrín	6	114	0,7	0,1
Alambre Nº 14	25	32	0,8	0,1
Semilla	25	350	8,8	1,5
Inoculante	0,09	365	0,03	0,0
Imprevistos (5%)	-	-	1,4	-
Total			29,9	2,5

(1) miles de pesos

CUADRO I-45

Costos de operación año 1-5

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total (1)	IVA (1)
Mano de obra	12	220	2,6	-
Maquinaria	2,5	2.200	5,5	-
Fertilizante				
- S.F.T.	103	16	1,7	0,3
Alambre	50	25	1,3	0,2
Imprevistos	-	-	0,6	-
Total			11,7	0,5

(1) miles de pesos

CUADRO I-46

Ingresos brutos

Año	Rendimiento (1)	Precio (2)	Total (3)	IVA (3)
1	19	3,9	74,1	12,3
2-4	25	3,9	97,5	16,3
5	22	3,9	85,8	14,3

(1) toneladas por hectárea

(2) miles de pesos por tonelada

(3) miles de pesos

CUADRO I-47

I.V.A. neto

Año	IVA débito	IVA crédito	IVA neto	Costo adicional	Ingreso adicional (1)
0	-	2,5	2,5	-	-
1	12,3	0,5	(11,8)	11,8	2,5
2-4	16,3	0,5	(15,8)	15,8	-
5	14,3	0,5	(13,8)	13,8	-

(1) miles de pesos

CUADRO I-48

Costos indirectos

Costos indirectos	(1)
Administración y asistencia técnica	6
Gastos generales	4
Total	10

(1) miles de pesos por hectárea

CUADRO I-49

Beneficios netos

Año	Beneficios	Costos (2)	Beneficios netos (1)
0	-	29,9	(29,9)
1	76,6	33,5	43,1
2-4	97,5	37,5	60,0
5	85,5	35,5	50,0

(1) miles de pesos por hectárea

(2) suma de los cuadros I-45, I-47 y I-48

CUADRO I-50

Valor actual neto (V.A.N.) y
flujo anual equivalente (F.A.E.)

V.A.N.	176,17	(1)
F.A.E.	46,47	(1)

(1) miles de pesos

I-1.6.2 Riego por aspersión

CUADRO I-51

Inversión año 0

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total (1)	IVA (1)
Mano de obra	18	220	3,96	-
Maquinaria				
- Preparación suelo	3,8	2.200	8,36	-
Fertilizante				
- Urea	26	13,3	0,34	0,06
- S.F.T.	200	16	3,2	0,53
Pesticida				
- Aldrín	6	114	0,7	0,1
Alambre	27	25	0,7	0,1
Semilla	25	350	8,8	1,5
Inoculante	0,09	365	0,03	0
Equipo de riego	-	-	33,0	5,5
Dirección técnica	-	-	7,5	-
Imprevistos (5%)	-	-	3,3	-
Total			69,9	7,8

(1) miles de pesos

CUADRO I-52

Costos de operación año 1-5

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
Mano de obra	9	220	1,98	-
Maquinaria	2,5	2.200	5,5	-
Fertilizante				
- S.F.T.	100	16	1,6	0,27
Alambre	54	25	1,35	0,23
Energía eléctrica	-	-	3,75	-
Mantenimiento equipos	-	-	2,00	-
Depreciación	-	-	2,2	-
Imprevistos (5%)	-	-	0,92	-
Total			19,3	0,5

CUADRO I-53

Ingresos brutos

Año	Rendimiento(1)	Precio(2)	Total(3)	IVA(3)	Valor residual(3)	IVA(3)
1	21	3,9	82	14	-	-
2-4	28	3,9	109	18	-	-
5	25	3,9	98	16	22	4

(1) toneladas por hectárea

(2) miles de pesos por tonelada

(3) miles de pesos

CUADRO I-54

I.V.A. neto

Año	IVA débito	IVA créd.	IVA neto	Costo adicional	Ingreso adicional
0	-	7,8	7,8	-	-
1	14	0,5	(13,5)	13,5	7,8
2-4	18	0,5	(17,5)	17,5	-
5	20	0,5	(19,5)	19,5	-

CUADRO I-55

Costos indirectos

Costos indirectos	(1)
Administración y asistencia técnica	6
Gastos generales	4
Total	10

(1) miles de pesos

CUADRO I-56

Beneficios netos

Año	Beneficios	Costos	Beneficios netos
0	-	69,9 (1)	(69,9)
1	90	42,8	47,2
2-4	109	46,8	62,2
5	120 (2)	48,8	71,2

(1) suma de los cuadros I-52, I-54 y I-55

(2) incluye valor residual del equipo de riego

CUADRO I-57

V.A.N. y F.A.E.

V.A.N.	157,9	(1)
F.A.E.	41,7	(1)

(1) miles de pesos

I-1.7 Uva de mesaI-1.7.1 Riego por surco

CUADRO I-58

Inversión año 0

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total (1)	IVA (1)
Plantas	625	15	9,37	1,56
Fertilizante - S.F.T.	125	16	2	0,33
Materiales				
1) Madera				
- Rodrigones	625	49	30,6	5,1
- Esquineros	4	390	1,56	0,26
- Cabezales	96	100	9,6	1,6
2) Alambre				
Galvanizado N° 6	80	40	3,2	0,53
Galvanizado N° 8	70	45	3,15	0,52
Galvanizado N° 12	50	48	2,4	0,4
Acerado N° 17/15	250	55	13,75	2,29
3) Anclas	70	150	10,5	1,75
4) Grampas	8	40	0,32	0,05
Mano de obra	96	220	21,1	-
Maquinaria				
- Preparación suelo	1,5	2.200	3,3	-
- Micronivelación	0,7	1.500	1,05	-
Dirección técnica	-	-	7,5	-
Fletes	-	-	8	1,33
Imprevistos (5%)	-	-	6,37	-
Total			133,8	15,7

(1) miles de pesos

CUADRO I-59

Inversión año 2

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
Plantas	31	15	0,46	0,07
Alambre - Galvanizado N° 14	590	45	26,55	4,42
Mano de obra	7	220	1,54	-
Maquinaria	1	2.200	2,2	-
Fletes	-	-	8	1,3
Imprevistos (5%)	-	-	1,93	-
Total			40,69	5,8

CUADRO I-60

Requerimientos de insumos por hectárea

	precio unitario	año 1 (1)	año 2 (1)	año 3 (1)	año 4 (1)	año 5 (1)	año 6-20 (1)
Jornadas	220	42	66	72	96	107	107
Fertilizante							
- Salitre	10	400	940	1.095	1.010	1.100	1.100
Pesticidas							
a) Insecticidas							
- Selinon	600	-	1,2	2,5	3	3	3
- Supracide	1.104	0,5	1,2	2	3	3	3
b) Fungicidas							
- Azufre	31	20	50	120	205	205	205
- Captan	504	-	-	2,5	7,6	7,6	7,6
c) Acaricida							
- Acricid	1.248	0,2	0,3	0,6	0,8	0,8	0,8
Acido Giberélico	112.500	-	-	0,07	0,07	0,07	0,07
Maquinaria							
- Rastraje	2.200	1	1	1	1	1	1
- Surcadura	2.200	1	1	1	1	1	1
Cosecha	220	-	-	17	27	34	38
Cajas cosecha	40	-	-	150	200	220	250

(1) unidades por hectárea

CUADRO 1-61

Costos de producción

	año 1		año 2		año 3		año 4		año 5		año 6-20	
	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA
Jornadas	9,2	-	14,5	-	15,8	-	21,1	-	23,5	-	23,5	-
Leyes sociales	3,3	-	5,2	-	5,7	-	7,6	-	8,5	-	8,5	-
Fertilizante												
- Salitre	4,0	0,7	9,4	1,6	11,0	1,8	10,1	1,7	11	2,2	11	2,2
resticidas	1,5	0,25	4,0	0,66	9,5	1,55	15,3	2,8	16,3	2,8	16,3	2,8
Acido Giberélico	-	-	-	-	7,9	1,3	7,9	1,3	7,9	1,3	7,9	1,3
Maquinaria												
- Rastraje	2,2	-	2,2	-	2,2	-	2,2	-	2,2	-	2,2	-
- Surcadura	2,2	-	2,2	-	2,2	-	2,2	-	2,2	-	2,2	-
- Motobomba	2,5	-	3,3	-	4	-	4	-	4	-	4	-
Cosecha	-	-	-	-	3,7	-	5,9	-	7,5	-	8,4	-
Cajas cosecha	-	-	-	-	6	1	8	1,3	8,8	1,5	10	1,7
Fletes	2,6	0,4	2,8	0,5	3,2	0,5	3,8	0,6	6,4	1,1	8	1,3
Imprevistos (5%)	1,4	-	2,2	-	3,7	-	4,4	-	4,9	-	5,1	-
Total	28,9	1,35	46,0	3,3	76,9	6,15	93,6	7,7	103,2	8,9	108,1	9,3

(1) ver cuadro 1-60 para el detalle

CUADRO I-62

Costos indirectos

Costos indirectos	(1)
Administración	18
Mantenimiento de activos	6
Gastos generales	6
Total	30

(1) miles de pesos

CUADRO I-63

Costos totales (1)

Año	Costos directos		Costos indirectos		Total	
	Monto	IVA	Monto	IVA	Monto	IVA
1	28,9	1,35	30	-	58,9	1,35
2	46,0	3,3	30	-	76,0	3,3
3	76,9	6,15	30	-	106,9	6,15
4	93,6	7,7	30	-	123,6	7,7
5	103,2	8,9	30	-	133,2	8,9
6-20	108,1	9,3	30	-	138,1	9,3

(1) miles de pesos

CUADRO I-64

Producción total

Año	Rendimiento	Mercado Externo			Mercado Interno			Desecho		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	7(1)	-	-	-	7	10	70	-	-	-
4	12	7	32	224	3	10	30	2	3	6
5	21	13	32	416	4	10	40	4	3	12
6	26	16	32	512	5	10	50	5	3	15
7	28	17	32	544	6	10	60	5	3	15
8-14	30	18	32	576	6	10	60	6	3	18
15	28	17	32	544	6	10	60	5	3	15
16	26	16	32	512	5	10	50	5	3	15
17-18	24	14	32	448	5	10	50	5	3	15
19	21	13	32	416	4	10	40	4	3	12
20	18	11	32	352	4	10	40	3	3	9

(1) toneladas

(2) miles de pesos por tonelada

(3) miles de pesos.

CUADRO I-65
Ingreso bruto

Año	Monto total	IVA	Valor residual (5%)	IVA
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	70	14	-	-
4	260	52	-	-
5	468	94	-	-
6	577	115	-	-
7	619	124	-	-
8-14	654	131	-	-
15	619	124	-	-
16	577	115	-	-
17-18	513	103	-	-
19	468	94	-	-
20	401	80	9	2

CUADRO I-66
I.V.A. neto

Año	IVA débito	IVA valor residual	IVA crédito	IVA neto	Costo adicional	Ingreso adicional
0	-	-	15,7	15,7	-	-
1	-	-	1,35	1,35	-	15,7
2	-	-	9,1	9,1	-	1,35
3	14	-	6,15	(7,85)	7,85	9,1
4	52	-	7,7	(44,3)	44,3	-
5	94	-	8,9	(85,1)	85,1	-
6	115	-	9,3	(105,7)	105,7	-
7	124	-	9,3	(114,7)	114,7	-
8-14	131	-	9,3	(121,7)	121,7	-
15	124	-	9,3	(114,7)	114,7	-
16	115	-	9,3	(105,7)	105,7	-
17-18	103	-	9,3	(93,7)	93,7	-
19	94	-	9,3	(84,7)	84,7	-
20	80	2	9,3	(70,2)	70,7	-

CUADRO I-67,

Beneficios netos

Año	Beneficios	Costos totales	Beneficios netos
0	-	134	(134)
1	15,7	58,9	(43,2)
2	1,35	117	(115,65)
3	79,1	114,8	(35,7)
4	260	167,9	92,1
5	468	218,3	249,7
6	577	243,8	333,2
7	619	252,8	366,2
8-14	654	259,8	394,2
15	619	252,8	366,2
16	577	243,8	333,2
17-18	513	231,8	281,2
19	468	222,8	245,2
20	410	208,8	201,2

CUADRO I-68

V.A.N. y F.A.E.

V.A.N.	1620,3	(1)
F.A.E.	190,3	(1)

(1) miles de pesos

I-1.7.2 Riego por goteo

CUADRO I-69

Inversión año 0

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
Plantas	625	15	9,37	1,56
Fertilizante				
- S.F.T.	125	16	2	0,33
Materiales (1)	-	-	75,1	12,5
Mano de obra	82	220	18,0	-
Maquinaria				
- Preparación suelo	1,5	2.200	3,3	-
Dirección técnica	-	-	7,5	-
Equipo de riego	-	-	90,0	15,0
Flete insumos	-	-	9,6	1,6
Imprevistos (5%)	-	-	10,74	-
Total			225,67	31,01

(1) ver cuadro I-58

CUADRO I-70
Costos de producción

	año 1		año 2		año 3		año 4		año 5		año 6-20	
	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA	Total	IVA
Jornadas	7,6	-	12,3	-	13,4	-	17,9	-	20,0	-	20	-
Leyes sociales	2,6	-	4,4	-	4,8	-	6,5	-	7,2	-	7,2	-
Fertilizante												
- Urea	0,3	0,05	0,6	0,1	0,9	0,15	1,6	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3
Acido giberélico	-	-	-	-	7,9	1,3	7,9	1,3	7,9	1,3	7,9	1,3
Festicidas (1)	1,3	0,2	3,7	0,6	8,8	1,5	15,2	2,5	15,2	2,5	15,2	2,5
Maquinaria												
- Mastraje	1,3	-	1,3	-	1,3	-	1,3	-	1,3	-	1,3	-
- Energía eléctrica	2,5	-	3,0	-	3,7	-	3,7	-	3,7	-	3,7	-
Cosecha	-	-	-	-	4,3	-	7,0	-	8,6	-	9,7	-
Cajas cosecha	-	-	-	-	7,8	1,3	10,4	1,7	11,4	1,9	13,0	2,2
Fletes	3,3	0,6	4,1	0,7	4,1	0,7	4,8	0,8	8,1	1,3	10,2	1,7
Mantenimiento equipos	4,0	-	4,0	-	4,0	-	4,0	-	4	-	4	-
Depreciación	11,3	-	11,3	-	11,3	-	11,3	-	11,3	-	11,3	-
Imprevistos (5%)	1,7	-	2,2	-	3,6	-	4,6	-	5	-	5,3	-
Total	36,4	0,8	46,9	1,4	75,9	4,8	96,2	6,6	105,5	7,3	110,6	8,0

(1) ver cuadro I-60 para el detalle

CUADRO I-71

Inversión año 2

	Unidades por hectárea	Precio unitario	Total	IVA
Plantas	31	15	0,46	0,078
Alambre	590	45	26,55	4,4
Mano de obra	6	220	1,32	-
Maquinaria	1	2.200	2,2	-
Flete insumos	-	-	9,6	1,6
Imprevistos (5%)	-	-	2,0	-
Total			42,1	6,1

CUADRO I-72

Costos indirectos

Costos indirectos	(1)
Administración	18
Mantenimiento activos (excluido equipo de riego)	6
Gastos generales	6
Total	30

(1) miles de pesos

CUADRO I-73

Costos totales

Año	Costos directos		Costos indirectos		Total	
	Monto	IVA	Monto	IVA	Monto	IVA
1	36,4	0,8	30	-	66,4	0,8
2	46,9	1,4	30	-	76,9	1,4
3	75,9	4,8	30	-	105,9	4,8
4	96,2	6,6	30	-	126,2	6,6
5	105,5	7,3	30	-	135,5	7,3
6-20	110,6	8,0	30	-	140,6	8,0

CUADRO I-74

Producción total

Año	Rendimiento	Mercado Externo			Mercado Interno			Desecho		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	8 (1)	-	-	-	8	10	80	-	-	-
4	15	9	32	288	3	10	30	3	3	9
5	25	15	32	480	5	10	50	5	3	15
6	31	19	32	608	6	10	60	6	3	18
7	33	20	32	640	7	10	70	6	3	18
8-14	35	21	32	672	7	10	70	7	3	21
15	33	20	32	640	7	10	70	6	3	18
16	31	19	32	608	6	10	60	6	3	18
17-18	29	17	32	544	6	10	60	6	3	18
19	25	15	32	480	5	10	50	5	3	15
20	20	12	32	384	4	10	40	4	3	12

- (1) toneladas
 (2) miles de pesos por tonelada
 (3) miles de pesos

CUADRO I-75

Ingreso bruto

Año	Monto total	IVA	Valor residual (5%)	IVA
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	80	16	-	-
4	327	65	-	-
5	545	109	-	-
6	688	137	-	-
7	728	146	-	-
8-14	763	153	-	-
15	728	146	-	-
16	688	137	-	-
17-18	622	124	-	-
19	545	109	-	-
20	436	87	13	2

CUADRO I-76

I.V.A. neto

Año	IVA débito	IVA valor residual	IVA crédito	IVA neto	Costo adicional	Ingreso adicional
0	-	-	31	31	-	-
1	-	-	0,8	0,8	-	31
2	-	-	7,5	7,5	-	0,8
3	16	-	4,8	(11,2)	11,2	7,5
4	65	-	6,6	(58,5)	58,4	-
5	109	-	7,3	(101,7)	101,7	-
6	137	-	8,0	(129)	129	-
7	146	-	8,0	(138)	138	-
8-14	153	-	8,0	(145)	145	-
15	146	-	8,0	(138)	138	-
16	137	-	8,0	(129)	129	-
17-18	124	-	8,0	(116)	116	-
19	109	-	8,0	(101)	101	-
20	87	2	8,0	(81)	81	-

CUADRO I-77

Beneficios netos

Año	Beneficios (1)	Costos totales (2)	beneficios totales
0	-	225,7	(225,7)
1	31,0	66,4	(35,4)
2	0,8	117,6	(116,8)
3	87,5	117,1	(29,6)
4	327,0	184,6	142,4
5	545,0	237,2	307,8
6	686,0	269,6	416,4
7	728,0	278,6	449,4
8-14	763,0	285,6	477,4
15	728,0	278,6	449,4
16	686,0	269,6	416,4
17-18	622,0	256,6	365,4
19	545,0	241,6	303,4
20	449,0	221,6	227,4

(1) ver cuadros I-74, I-75 y I-76

(2) ver Cuadros I-73 y I-76

CUADRO I-78

V.A.N. y F.A.E.

V.A.N.	2.366,1	(1)
F.A.E.	277,9	(1)

(1) milas de pesos

I-1.8 Beneficios (resumen)

CUADRO I-79

Beneficios netos(miles de pesos por hectárea)

	Surco	Borde	Aspersión	Goteo
Sandía	138	-	136	64
Zanahoria	-	-	217	-
Maíz	229	-	237	-
Zapallo	190	-	191	128
Pepino				
ensalada	116	-	118	36
AjÍ	211	-	228	155
roroto	75	-	67	(42)
Zapallo				
italiano	265	-	260	211
Alfalfa	-	46	42	-
Uva de mesa	196	-	-	278
Tomate	356	-	-	422
Haba	152	-	-	-
Papa	113	-	-	-
Coliflor	71	-	-	-
Betarraga	192	-	-	-

I-1.9 Modelo probabilístico

CUADRO I-80

Correspondencia entre los estadospronosticados y los ocurrientes

Ocurrencia	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5	Total
Pronóstico						
Estado 1	2	1	0	0	0	3
Estado 2	1	6	0	0	0	7
Estado 3	0	0	4	0	0	4
Estado 4	0	0	1	7	0	8
Estado 5	0	0	0	0	3	3
Total	3	7	5	7	3	25

CUADRO I-81

Probabilidad de ocurrencia
de cada uno de los estados hídricos

	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Probabilidad	0,12	0,28	0,20	0,28	0,12

CUADRO I-82

Probabilidad de pronosticar
cada uno de los estados hídricos

	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Probabilidad	0,12	0,28	0,16	0,32	0,12

CUADRO I-83

Probabilidad condicional

Ocurrencia	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Pronóstico					
Estado 1	0,66	0,14	0,0	0,0	0,0
Estado 2	0,34	0,86	0,0	0,0	0,0
Estado 3	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
Estado 4	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0
Estado 5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

I-1.10 Evapotranspiración

CUADRO I-84

Evapotranspiración

	Evapotranspiración (mm)
Enero	179,3
Febrero	154,9
Marzo	128,9
Abril	103,1
Mayo	72,4
Junio	60,5
Julio	63,7
Agosto	76,3
Septiembre	100,4
Octubre	135,6
Noviembre	160,6
Diciembre	173,6

I-1.11 Coefficientes de variación
de los precios de venta

CUADRO I-85

Coefficientes de variación

	Surco	Borde	Aspersión	Goteo
Sandía	0,76	-	0,69	0,41
Zanahoria	-	-	0,80	-
Maiz	0,89	-	0,82	-
Zapallo	0,83	-	0,76	0,43
Pepino				
ansalada	0,80	-	0,85	0,53
AjÍ	0,67	-	0,67	0,48
Póroto	0,62	-	0,60	0,75
Zapallo				
italiano	0,76	-	0,73	0,56
Alfalfa	-	0,62	0,49	-
Uva de mesa	0,44	-	-	0,56

I-1.12 Requerimientos hídricos

CUADRO I-86

Período mayo-septiembre (m³)

TASAS DE RIEGO CULTIVOS PERÍODO MAYO - SEPTIEMBRE
(METROS CUBICOS POR HECTAREA) -

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
ITOMA+SURC	0,0	1512,0	1371,5	1421,2	1280,9
ITOMA+GOTE	0,0	872,2	793,3	822,1	740,9
IRABA+SURC	0,0	1913,8	0,0	1774,1	3385,6
IPAPA+SURC	786,3	783,8	1513,7	1531,3	0,0
ICOCI+SURC	0,0	1401,7	1305,0	1272,7	0,0
IBETA+SURC	1508,1	1556,3	1536,9	496,9	0,0

CUABRO I-87

Periodo septiembre - abril (m³)

TASAS DE RIEGO CULTIVOS PERIODO SEPTIEMBRE - ABRIL
(METROS CUBICOS POR HECTAREA)

	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
ISAND+SUPC	0,0	4173,0	3440,7	930,5	0,0	0,0	0,0	0,0
ISAND+ASPE	0,0	2720,5	2243,2	638,6	0,0	0,0	0,0	0,0
ISAND+CCOTE	0,0	2413,8	1990,2	538,2	0,0	0,0	0,0	0,0
IZARA+ASPE	0,0	2321,6	1538,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IZARA+SUPC	0,0	4201,4	4068,8	2624,8	0,0	0,0	0,0	0,0
IZARA+ASPE	0,0	2739,1	2652,7	1711,3	0,0	0,0	0,0	0,0
IZARA+SUPC	1811,2	2114,9	3501,5	2755,4	3166,3	621,1	0,0	0,0
IZARA+ASPE	1182,0	1378,8	2282,9	1795,1	2076,6	535,3	0,0	0,0
IZARA+CCOTE	1047,7	1223,3	2025,4	1592,7	1844,2	474,9	0,0	0,0
IPKAS+SUPC	877,9	2512,2	3190,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IPKAS+ASPE	572,4	1637,8	2080,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IPKAS+CCOTE	307,6	1453,1	1845,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IZAJ+SUPC	1578,6	2783,3	2593,3	2134,6	0,0	0,0	0,0	0,0
IZAJ+ASPE	1290,0	1914,0	1690,7	1391,7	0,0	0,0	0,0	0,0
IZAJ+CCOTE	1124,5	1810,0	1500,0	1234,7	0,0	0,0	0,0	0,0
IPCC+SUPC	1345,2	2273,0	3386,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IPCC+ASPE	877,0	1481,9	2207,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IPCC+CCOTE	778,1	1314,8	1538,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IZITA+SUPC	1318,3	2517,4	3069,7	1113,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IZITA+ASPE	859,1	1541,2	2001,3	726,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IZITA+CCOTE	781,4	1456,1	1775,6	644,1	0,0	0,0	0,0	0,0
IZIFA+SUPC	0,0	2370,7	1257,2	2237,0	2142,6	2250,3	1089,2	1401,7
IZIFA+ASPE	0,0	1888,1	1031,2	1781,5	1706,5	1742,2	867,4	1116,3
IUV+SUPC	1212,2	1071,2	1769,2	3135,3	2196,8	2540,6	1019,9	1104,4
IUV+CCOTE	701,2	619,6	1034,9	1813,5	1270,7	1469,7	569,9	236,2

APENDICE II

II-1. PROGRAMA RIEGDP

II-1.1 Rutina Riegop

Aun cuando ya fueron definidas las partes que constituyen la rutina Riegop, es conveniente explicar la función que tiene cada uno de los nudos de decisión (IF) y que se encuentran a lo largo de ella (FIGURA II-1.).

En primer lugar, pueden ser individualizados to dos aquellos IF que contengan una proposición del tipo LESC(n) (LESC1, LESC2, LESC3, etc). Ellos, controlan la operatoria de la subrutina correspondiente, subruti na encargada de escribir alguna parte del programa (LESC1 controla a la subrutina LESC1). El valor asigna do a cada LESC(n) está definido en la subrutina GUIA, si el valor es cero, implicará la no ejecución de la subrutina correspondiente.

Un segundo grupo de IF, está compuesto por aquellas decisiones que contienen proposiciones cuyos va lores los determina el mismo programa. Los IF que caen en este grupo son los que incluyen las proposici ones De, Valor, As, Kotrol, Ret y Tpt. Si a uno de los programas anteriores el programa le asigna un va lor cero, implicará una respuesta negativa a la consult a planteada. La proposición De, determina la existenci a de una variación en la superficie regada con métod os de riego a presión, cuando se pasa de un estado híd rico a otro. Por su parte, Valor determina la presenci a

cia de cultivos permanentes en el esquema óptimo de cultivos. La proposición As detecta si la salinidad existente es problemática para los cultivos. El IF que tiene a Kotrol determina la existencia de restricciones igualitarias. Mediante la proposición Ret, se evalúa si existe superficie disponible para ser sembrada durante el período mayo-septiembre. Por último, Tpt detecta si el 100% de la superficie está bajo cultivos sometidos a restricciones igualitarias, ya que estos cultivos son definidos en función de la menor disponibilidad hídrica posible.

El último grupo de IF está constituido por aquellas decisiones que contienen proposiciones de un valor fijo y predeterminado. Las proposiciones de este tipo son Kmb, Nmrp y Ncp. La primera de ellas, Kmb, controla los cambios de ciertos coeficientes que intervienen en el MPL. Las proposiciones Nmrp y Ncp definen el número de métodos de riego a presión y el de cultivos permanentes, respectivamente.

II-1.2 Subrutina Guia

En esta subrutina se definen coeficientes que controlan el comportamiento de Riegop. Los coeficientes definidos pueden ser divididos en dos grupos; los coeficientes de cuantificación y los coeficientes de control.

II-1.2.1 Coefficientes de cuantificación

Estos coeficientes intervienen en procesos ejecutados por Riegop, ellos son:

- a) Kotrol. Define al número de restricciones igualitarias. Se le asigna un valor inicial cero.
- b) Nmesr. Corresponde al número de meses del período.
- c) Nvar. Es el número de variables, corresponde al número de combinaciones cultivo-método de riego consideradas.
- d) Muel. Este coeficiente controla la obtención de la solución dual del problema planteado. Como, en este caso, interesa conocer la solución primal, se le asigna un valor cero.
- e) Nac. Es el número de variables no acotadas, es decir, el número de variables que, en la solución final, pueden tener un valor inferior a cero.
- f) Delta2. Este coeficiente multiplica las disponibilidades de agua. Gracias a él puede averiguarse el efecto que tendrá, en el resultado final, un aumento o una disminución de la disponibilidad actual de agua.
- g) Ece. Conductividad eléctrica del extracto a saturación del suelo.
- h) Ecw. Conductividad eléctrica del agua.

II-1.2.2 Coefficientes de control

Estos coeficientes especifican el tipo de salidas que escribe el programa. Un valor cero asignado a uno

de ellos indica que la salida controlada por él no se rá ejecutada. Las salidas generadas por el programa y, que son controladas por este tipo de coeficientes, puden ser ubicadas en tres niveles; básico, medio y superior.

- a) Nivel básico. Corresponde a los valores generados por el MPL y que no han sufrido ningún tipo de procesamiento. El control de esta salida está dado por el coeficiente de control LPL.
- b) Nivel medio. Son aquellos valores provenientes del análisis paramétrico del MPL y, que tienen un nivel intermedio de procesamiento. El control está dado por el coeficiente LONG.
- c) Nivel superior. Corresponde a todas aquellas salidas que se han procesado y ordenado completamente. Estas salidas son generadas por las subrutinas del tipo ESC(n). El control de cada una de estas subrutin_{as} está determinado por un coeficiente denominado LESC(n) (LESC1 controla a ESC1, etc).

II-1.3 Subrutina Requio

El objetivo de esta subrutina es el de calcular los requerimientos hídricos para el riego, por mes y para cada combinación cultivo método de riego que se consideró. Los criterios básicos contenidos en esta subrutina están descritos por Doorenbos y Kassam (27).

En primer lugar, se calculan los requerimientos hídricos de los cultivos, por último, se calculan los requerimientos hídricos para el riego, multiplicando

los requerimientos hídricos por las eficiencias de los métodos de riego considerados.

Para la determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos, en primer lugar, se multiplica el valor de la evapotranspiración potencial (ETD) por el coeficiente de los cultivos (Kc), obteniéndose el valor de la evapotranspiración potencial de los cultivos (ETPD). La función de multiplicar ETD por Kc es la de relacionar ETD con ETPD, valor, este último, que depende del estado fenológico de los cultivos.

El paso siguiente dentro de esta subrutina lo constituye el cálculo de COEF, que corresponde a la fracción en la cual puede ser disminuida la cantidad de agua a capacidad de campo, sin que se produzca una disminución de los rendimientos. El coeficiente COEF es calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{COEF} = A \times (B(\text{ETPD}-1)) \quad , \text{ donde}$$

- A coeficiente de ajuste. Mediante este coeficiente puede incorporarse el efecto del tipo de suelo.
- B coeficiente característico del cultivo.

Una vez calculado COEF, éste se multiplica por el volumen de agua disponible del suelo, determinándose el volumen de agua que debe ser repuesto por el riego.

En su última parte, Requid multiplica los volúmenes de agua que deben ser repuestos por la eficien

cia de riego de los métodos considerados, obteniéndose así los volúmenes totales de agua que deben ser aplicados por cada cultivo y método de riego.

II-1.4 Subrutina READER

La función de esta subrutina es la de leer el valor que se asignó a una serie de variables básicas del problema.

Los primeros argumentos en ser leídos son DISP1, DISP2, DISP3, DISP4 y DISP5. Estos valores son las disponibilidades hídricas mensuales por estado hídrico. El número que identifica a cada DISP identifica al estado hídrico que representa.

Los siguientes argumentos en ser leídos son las matrices REND de rendimientos, BENEF de beneficios, P de precios de venta y COST de costos. A continuación son leídas las matrices CINEV de costos inevitables y CEV de los costos evitables. Una explicación mas en profundidad de los costos anteriores será dada mas adelante.

A continuación se lee la matriz EMOD que corresponde al valor de los beneficios de los cultivos cuando a los ingresos brutos se les ha restado, solamente, los costos evitables. Mas adelante se explicará la razón de ser de estos cultivos.

En la definición de los elementos de las matrices CEV, CINEV, BMOD, COST, REND, BNEF y P se sigue una secuencia preestablecida, la que es definida por las características culturales de los cultivos y, cuando corresponde, por el tipo de método de riego utilizado. En primer lugar, se definen todos aquellos cultivos que no son sembrados durante septiembre, luego, los cultivos sembrados durante septiembre y, por último, los cultivos permanentes. Ahora, para cada cultivo, se definen, en primer lugar, los valores correspondientes a los métodos de riego superficiales (surco, borde), definiéndose, a continuación, los valores correspondientes a los métodos de riego a presión (aspersión, goteo).

Mas adelante, READER lee las matrices DISPH, que contiene las cantidades de agua disponible por estado para el período septiembre-abril y, ZBEN que corresponde a los beneficios de los cultivos definidos para la época mayo-septiembre.

Por último, esta subrutina lee las matrices DHMCS1, DHMCS2, DHMCS3, DHMCS4 y DHMCS5, que son las disponibilidades mensuales de agua por estado hídrico, para el período mayo-septiembre.

II-1.5 Subrutina CLEAN

En esta subrutina se le asigna un valor inicial a variables creadas por el modelo. La necesidad de lo anterior radica en que muchas veces, durante la crea

ción de una variable, sólo se definen algunos coeficientes, originando situaciones de valores indefinidos, lo cual crea problemas al desarrollo del programa. El valor inicial asignado a todas estas variables es cero.

Los primeros valores en ser definidos son los de la solución del programa y, son cuatro:

- a) Prod. valor de la solución para la situación base.
- b) Prod6. Valor de la solución para la situación en la cual existen problemas por el nivel de salinidad existente y se lavan las sales.
- c) Prod8. Valor de la solución para los cultivos de finidos durante el período mayo-septiembre.
- d) Prod9. Valor de la solución para la situación en la cual existe una cantidad de agua menor que la pronosticada, y se disminuye la superficie bajo cultivo, hasta el nivel en que ésta pueda ser regada en forma normal.

A continuación se definen las matrices RHMCS, que son los requerimientos hídricos mensuales de los cultivos del período mayo-septiembre y, OBJ que es la función objetivo del MPL. Mas adelante se definen las matrices RMS, de los lados derechos de las inecuaciones del MPL, RESTR que corresponde a la matriz de coeficientes e Y es la matriz que contiene a las restricciones igualitarias.

Los últimos valores en ser definidos son las solu

ciones primales, las que son cuatro:

- a) X. Solución primal para la situación base.
- b) X₆. Solución primal para la situación en la cual hay problemas de salinidad y se lavan las sales.
- c) X₉. Solución primal para la situación en la cual hay una disponibilidad de agua inferior que la pronosticada y se cambia el esquema de cultivos.
- d) XA. Solución primal para la estrategia mas rentable para la situación en la cual ocurre una disponibilidad de agua menor que la pronosticada.

II-1.6 Subrutina CHANGE

Mediante esta subrutina pueden variarse los valores fundamentales determinados por READER. Dos son los tipos de cambios que pueden realizarse. El primer tipo de cambio consiste en la modificación de las matrices BENE_F y CO_{ST}. La magnitud de la variación está determinada por el coeficiente CVAR. El segundo tipo de cambio es la modificación de la matriz BENE_F, mediante la imposición de un precio (PREC) al metro cúbico de agua usado.

Los cambios anteriores son alternativos, por lo tanto, si se desea realizar el primer cambio, a la variable de control KM_{B1} se le asigna valor cero, en caso contrario, se le asigna valor uno.

II-1.7 Subrutina CHAN1

El objetivo de esta subrutina es el de variar las

dotaciones de agua definidas por las variables DISP(n).

Las disponibilidades de agua son multiplicadas por el coeficiente DELTA2, el cual determina la magnitud del cambio que se desea darles a las variables DISP(n).

II-1.8 Subrutina LSL1

Esta subrutina escribe las características que en marcan al problema estudiado. En primer lugar, se escribe el tipo de listado, a continuación, se escriben los cultivos y los métodos de riego considerados. Por último, se escriben las combinaciones cultivo-método de riego consideradas y la tipificación de los estados hídricos.

II-1.9 Subrutina CULSAL

La función de CULSAL es la de analizar el problema de la salinidad. En caso que el nivel de salinidad existente, ya sea en el suelo o en el agua de riego, sea perjudicial para los cultivos, se calcula un nuevo volumen de requerimiento hídrico, en el cual se considera un volumen destinado a lavar las sales. Esta subrutina está basada en los criterios recomendados por Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (34).

La suposición básica que se plantea en esta subrutina es que la disminución de los rendimientos es li

neal y proporcional a la conductividad eléctrica del extracto a saturación del suelo.

Se define problema por salinidad cuando la concentración de sales del extracto a saturación del suelo disminuye los rendimientos en un porcentaje mayor al 10%.

En caso que se detecten cultivos cuyos rendimientos disminuyan en un porcentaje mayor al 10%, se calculan los requerimientos adicionales de agua, necesarios para lavar las sales del perfil. Para calcular el requerimiento de lavado, hay que tener en cuenta el método de riego que se utiliza con el cultivo. En caso que el método de riego sea uno de tipo superficial (surco, borde), el procedimiento de cálculo del requerimiento de lavado (RL) es el siguiente:

$$RL = ECW / (5 \times ECE - ECW) \quad , \text{donde}$$

RL requerimiento de lavado,
 ECW conductividad eléctrica del agua.
 ECE conductividad eléctrica del extracto de
 una solución saturada de suelos.

En caso que el método de riego sea a presión (aspersión, goteo), el procedimiento de cálculo es el siguiente:

$$RL = ECW / (2 \times MAXECE) \quad , \text{donde}$$

MAXECE conductividad eléctrica del extracto a saturación del suelo que provoca una disminución de un 100% de los rendimientos.

El RL antes calculado, está calculado en términos porcentuales, por lo tanto, para calcular cuales son los nuevos requerimientos hídricos, el modelo procede a dividir los requerimientos hídricos por $(1 - RL)$.

II-1.10 Subrutina CUADRA

La función de esta subrutina ya se explicó, por lo tanto, a continuación sólo se describe su procesamiento interno.

En primer lugar, CUADRA transforma a la matriz de beneficios (BAMEF), que es tridimensional, en el vector unidimensional OBJ, que es la función objetivo del MPL. Seguidamente, transforma la matriz de requerimientos hídricos (REK), que es tridimensional, en la matriz REH1 que es bidimensional, que se incorpora a la matriz de coeficientes.

La última función que realiza CUADRA es la de definir los valores de RHS correspondientes a la restricción de suelo.

II-1.11 Subrutina PL

En esta subrutina se distinguen dos unidades operacionales. La primera, define los coeficientes que se mantendrán sin cambio a lo largo de PL. Dentro de la primera unidad, se define, en primer lugar, el vector OBJ1 que es la función objetivo del TOYLP. A con

tinuación, se define la matriz de coeficientes (REST). Por último, se definen aquellos elementos del RHS que no variarán durante el transcurso de la subrutina.

La segunda unidad de PL se encarga de llamar al TOYLP, este llamado se hace 5 veces, uno por cada estado hídrico, cambiándose, en cada oportunidad, los RHS correspondientes a las disponibilidades hídricas. El llamado del TOYLP se hace via subrutina SIMPLE, la cual está incorporada al MPL.

Las salidas del MPL son reagrupadas en matrices que contienen la información de acuerdo con los requerimientos del MTD.

II-1.12 Subrutina VERYF

El objetivo de VERYF es el determinar cual es el valor que tendrán las sensibilidades de costos, antes que sean introducidas al modelo las restricciones igualitarias. Una vez que las restricciones igualitarias se han definido e incorporado al modelo, las sensibilidades de costos alcanzarán valores límites. La razón de lo anterior, está en que al forzar a que en la solución del programa, el cultivo en cuestión tenga siempre la misma superficie, independiente del estado hídrico, el MPL tomará como cotas límites a las mayores magnitudes posibles de ser definidas por él. Para obviar el problema anterior, se toman los valores de las sensibilidades de costos cuando aún no se definen las restricciones igualitarias, es decir, en este momento.

11-13. Subrutina CULMR

En esta subrutina se analiza la variabilidad que puede experimentar la superficie regada con métodos de riego a presión (aspersión, goteo) cuando se pasa de un estado hídrico a otro. El cálculo de este punto es importante, ya que, de existir variación, indicará que durante alguno de los estados hídricos existirá inversión ociosa.

El primer paso que realiza esta subrutina, es el de calcular la superficie regada con métodos de riego a presión, durante el estado hídrico más seco. En caso, que para ese estado, alguna de las combinaciones cultivo-método de riego a presión no aparezca en la solución óptima, se le asigna un valor cero al elemento correspondiente de la matriz de beneficios (BENEF). El objeto de lo anterior, es el de evitar que esta combinación aparezca posteriormente en alguna de las soluciones generadas por el MPL.

El siguiente paso de esta subrutina, es la determinación de la superficie regada con métodos de riego a presión durante el estado hídrico más húmedo. A continuación, se calcula la diferencia entre las superficies regadas con métodos de riego a presión durante los estados hídricos extremos, definiéndose de esta forma el vector DIF, que contiene el resultado de las restas realizadas. Por último, sumando todos los elementos contenidos en DIF se obtiene el valor global de las diferencias (DE). La expresión anterior, DE, vuel

ve a RIEGOP y se utilizan en el proceso de toma de decisiones.

II-1.14 Subrutina STRONG

Esta subrutina determina las restricciones igualitarias correspondientes a todas las combinaciones cultivo método de riego que tengan, en la matriz de beneficios (BENEF) un valor distinto de cero.

Las restricciones igualitarias se definen por la superficie determinada para el estado hídrico más seco. Los valores de las restricciones igualitarias son incorporados a la matriz Y.

II-1.15 Subrutina ORDENA

El funcionamiento de esta subrutina puede dividirse en tres partes.

En la primera parte se calcula el número de restricciones igualitarias. El cálculo anterior se hace a partir de la matriz Y, que contiene a las restricciones igualitarias, definiéndose KOTRUL, que es el número total de este tipo de restricciones.

En su segunda parte, Ordena define la matriz de coeficientes de las variables sometidas a restricciones igualitarias.

En su última parte, esta subrutina define los RHS correspondientes de las restricciones igualitarias anteriormente determinadas.

II-1.16 Subrutina CULPER

El objetivo de esta subrutina es el de detectar la existencia de variaciones en las superficies plantadas con cultivos permanentes cuando se pasa de un estado hídrico a otro. En caso de detectar variaciones CULPER determina las restricciones igualitarias correspondientes.

El primer paso que realiza esta subrutina, es el de calcular la superficie plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico mas seco. A todos aquellos cultivos permanentes que no están presentes, en la solución óptima, durante el estado hídrico mas seco, se les asigna un valor de beneficio de \$ 0, asegurándose que este cultivo permanente no vuelva a estar presente en futuras soluciones del MPL. A continuación se calcula la superficie plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico más húmedo. Por último, a cada cultivo permanente cuyo valor de beneficio sea distinto de \$ 0, se le define como restricción igualitaria a la superficie resultante durante el estado hídrico mas seco. La restricción anterior se incorpora a la matriz Y.

II-1.17 Subrutina HIDRO

En esta subrutina se definen como coeficientes de requerimientos hídricos a los que no consideran en sí al requerimiento extra destinado para el lavado de sales.

II-1.18 Subrutina RENMOD

En RENMOD se analiza el efecto que tendrá un exceso de salinidad sobre los beneficios económicos de los cultivos. Esta subrutina se basa en los críterios contenidos en FAO (34).

El coeficiente de disminución de los beneficios (Z), se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Z = 1 - B(ECE - A) \quad , \text{ donde}$$

- A mayor conductividad eléctrica que no produ
ce una disminución de los rendimientos.
- B sensibilidad de los cultivos a un aumento
de la concentración de sales.

Para cada cultivo se calcula un Z característico, multiplicándose, luego, por el elemento correspondiente de la matriz de beneficios (BENEF). Los nuevos valores de los beneficios tendrán incorporado el efecto producido por las sales.

II-1.19 Subrutina PL6

Esta subrutina es, básicamente, igual que PL. La única diferencia consiste en que los elementos "inyectados" al MTD van "marcados", pudiéndose, así, diferenciar sus salidas de las correspondientes de PL (PROD6, DUAL6, etc).

II-1.20 Subrutina ESCSAL

El funcionamiento de esta subrutina puede ser dividido en dos partes. La primera, analiza cual de las dos estrategias, definidas para enfrentar el problema provocado por la salinidad, presenta una mayor rentabilidad. La segunda parte, escribe un aviso que individualiza los estados durante los cuales es más rentable no lavar las sales.

II-1.21 Subrutina ESC4A

La función de ESC4A es la de escribir cuales son las combinaciones cultivo-método de riego que han sido definidas como restricciones igualitarias.

II-1.22 Subrutina ESC2A

Esta subrutina se divide en dos partes. La primera controla la escritura de las superficies óptimas de finidas, durante cada estado hídrico, de cada combina

ción cultivo-método de riego. La segunda parte, contro la escritura de la matriz de ingresos, la cual contiene los resultados económicos de las distintas combinaciones de los j estado pronosticados y los i estados reales.

El desarrollo, de cada una de las partes anteriores, presenta una diferencia espacio-tiempo, ya que ellas son ejecutadas en distintas partes y momentos del programa. El comando ORDER se encarga de controlar el funcionamiento de la subrutina.

II-1.23 Subrutina POSI

Esta subrutina se divide en dos partes. La primera, redefine los coeficientes paramétricos del MPL, a adaptándolos para las condiciones que presenta la situación planteada por el período mayo-septiembre. La segunda parte, asigna a los coeficientes paramétricos los valores que originalmente tenían.

Al igual que ESC2A, las partes de esta subrutina presentan una diferencia operacional espacio-tiempo. El control sobre la operación de cada una de las partes está dado por el comando MANDO.

II-1.24 Subrutina CULSUP

La función de esta subrutina es la de calcular la superficie disponible para ser sembrada durante el período mayo-septiembre, la cual está en función del es

quema de cultivos definido durante el período septiembre-abril.

El cálculo de la superficie disponible se basa en el desarrollo de un proceso de restas sucesivas. Para el desarrollo del proceso anterior, los cultivos, del período septiembre-abril, se dividen en dos grupos: los cultivos permanentes y los sembrados durante septiembre. Ahora, del total de superficie disponible se resta, en primer lugar, la superficie plantada con cultivos permanentes, restándose, a continuación, la mayor superficie sembrada durante septiembre que haya sido definida durante algún estado hídrico. Lo anterior, se hace para evitar que una misma unidad de superficie sea ocupada, en un mismo momento, por cultivos pertenecientes a distintos períodos.

Si durante el proceso de restas sucesivas, en algún momento, la superficie disponible se acaba, se le asigna un valor cero a un comando (RET), definiéndose la imposibilidad de desarrollar un esquema de cultivos durante la época mayo-septiembre.

II-1.25 Subrutina CSCAL

Esta subrutina determina cual es el esquema de cultivos que genera la mayor rentabilidad durante el período mayo-septiembre.

Primeramente, CSCAL llama a las subrutinas REHID2 y

CUSALI. La primera subrutina calcula los requerimientos hídricos de los cultivos, la segunda, analiza el problema de la salinidad.

La siguiente función realizada por CSCAL, es la de definir los coeficientes y matrices del MPL. Primeramente, se define la función objetivo (OBJ1) a partir de la matriz de beneficios (ZREN). A continuación, se definen la matriz de coeficientes y los RHS.

La última función de CSCAL es la de llamar a PL8, subrutina, ésta última, que calcula la solución óptima para el período mayo-septiembre.

II-1.26 Subrutina REHID2

Esta subrutina tiene los mismos objetivos y funciones que REHID.

II-1.27 Subrutina CUSALI

La estructura y funcionamiento de esta subrutina son, básicamente, los mismos de CSCAL.

II-1.28 Subrutina PL8

La estructura básica y el funcionamiento de PL8 son, fundamentalmente, iguales que PL. La diferencia entre las subrutinas PL y PL8 radica en que, ésta última genera sólo dos tipos de salidas: valor de la solución óptima (PRIO8) y la solución primal (TT).

II-1.29 Subrutina CULMA

Esta subrutina calcula cual es el efecto que tiene sobre los rendimientos y, por lo tanto, sobre los beneficios, la **existencia de una situación en la cual ocurre** una menor disponibilidad de agua que la esperada. Esta subrutina está basada en los criterios contenidos en Doorenbos y Kassam (27).

El primer proceso realizado por esta subrutina, es la de calcular la superficie plantada con cultivos permanentes (SKPU). En caso que SKPU sea igual al 100% de la superficie disponible, se da por terminado el proceso de esta subrutina. Lo anterior, se fundamenta en que la superficie plantada con cultivos permanentes, está definida por el estado hídrico mas seco, no existiendo, por lo tanto, el problema que justifica esta subrutina.

Mas adelante, CULMA calcula los coeficientes de disminución de los rendimientos. El primer paso necesario para conocer la disminución de los rendimientos, es el definir la pérdida porcentual de la disponibilidad hídrica durante cada situación en la cual ésta es menor que la pronosticada. El cálculo anterior se hace a partir de la siguiente expresión:

$$PRES(i,j,k) = REST(j,k)/PDK(i,k) \quad \text{donde}$$

$PRES(i,j,k)$ disminución porcentual de la disponibilidad hídrica durante el mes k, cuando se ha pronosticado un estado hídrico i y o corre otro j de menor disponibilidad hídrica

- drica.
- REST(j,k) disponibilidad neta de agua durante el mes k del estado hídrico ocurrente j. La disponibilidad hídrica neta, es el resultado de restarle, a las disponibilidades hídricas totales, los **requerimientos** respectivos de los cultivos sometidos a restricciones igualitarias.
- POK(i,k) requerimientos hídricos, durante el mes k del estado hídrico pronosticado i, de todos los cultivos no sometidos a restricciones igualitarias.

Una vez calculado PRES, a partir de la siguiente expresión, puede calcularse la disminución de los rendimientos:

- $$COEF(i,j,k,n) = PRES(i,j,n) \times KY(k,n)$$
- COEF(i,j,k,n) disminución porcentual de los rendimientos del cultivo k, durante el mes n del estado pronosticado i, cuando ocurre j de menor disponibilidad hídrica.
- KY(k,n) sensibilidad de los rendimientos del cultivo k a una disminución de la disponibilidad hídrica durante el mes n.

Para calcular los nuevos rendimientos, COEF se multiplica por la matriz de rendimientos (REND), obteniéndose, así, una nueva matriz de rendimientos (RED). A continuación, RED se multiplica por el precio de venta

del cultivo, restándose, por último, los costos respectivos. La operatoria anterior se define por la siguiente expresión:

$$BED(i,j,k,l,m) = RED(i,j,k,l,m) \times P(k) - COST(k,l,m)$$

donde:

- $BED(i,j,k,l,m)$ beneficios obtenidos por el cultivo k cuando éste es regado por el método l y que está ubicado en el suelo m , cuando se pronostica un estado hídrico i y ocurre uno j de menor disponibilidad hídrica.
- $RED(i,j,k,l,m)$ rendimientos alcanzados por el cultivo k que es regado por el método l y que está ubicado en el suelo m , cuando se pronostica un estado hídrico i y ocurre uno j de menor disponibilidad hídrica.
- $P(k)$ precio de venta del cultivo k .
- $COST(k,l,m)$ costos en los que se incurre cuando se siembra un cultivo k que es regado por el método l y que está ubicado en el suelo m .

El último paso realizado por esta subrutina, es el de calcular cual es el beneficio global que se produce con la situación definida en esta subrutina. El procedimiento de cálculo, es el siguiente:

$$PRUDZ(i,j) = \sum_i^K \sum_j^L \sum_l^M BED(i,j,k,l,m) \times X(j,k,l,m)$$

donde:

PRUDZ(i,j) resultado económico de seguir la estrategia de no disminuir la superficie regada, cuando se pronostica un estado i y ocurre uno j de menor disponibilidad hídrica.

X(i,k,l,m) superficie definida del cultivo k, regado por el método l y ubicado en el suelo m, cuando se pronostica el estado hídrico i.

II-1.30 Subrutina CUAD1

El funcionamiento de CUAD1, es ,básicamente, igual que CUADRA. En este caso, OBJ se define a partir de la matriz BMOD, que incluye los beneficios generados por los cultivos, cuando se toma la estrategia de disminuir la superficie bajo cultivo. Los elementos de BMOD se calculan de la siguiente forma:

$$BMOD = \text{Ventas} - \text{CEV}, \text{ donde}$$

Ventas son los ingresos brutos.

CEV costos evitables.

El hecho que para determinar los elementos de BMOD sólo se hayan tomado en cuenta los costos evitables y no los costos totales, se funda en que los CEV son los únicos que el agricultor puede manejar a esa altura del proceso de producción agrícola. El resto

de los costos, los inevitables (CINEV), se restan del valor de solución óptima que entregue el MPL. Los CINEV están constituidos por todos aquellos costos en los cuales ya se incurrió, como pueden ser las se millas, los fertilizantes, fletes, etc.

II-1.31 Subrutina PL9

Esta subrutina, sigue el esquema básico de las otras subrutinas PL. La diferencia fundamental radica en que PL9 sólo genera dos tipos de salidas: solución óptima (PRUD9) y solución primal (X9).

II-1.32 Subrutina RENTAB

Esta subrutina realiza tres funciones. La primera consiste en llamar a la subrutina DEFINE, la cual calcula los beneficios que se obtienen al restarle a PROD9 los CINEV. La segunda función, es la determinación de cual de las estrategias planteada para enfrentar la situación de escasez hídrica, es mas rentable. Por último, RENTAB genera un aviso, en el que se identifican los estados hídricos durante los cuales es mas rentable la estrategia de cambiar el esquema de cultivos.

II-1.33 Subrutina DEFINE

La función de esta subrutina es la de calcular cuales son los retornos económicos que generará la es

trategia de disminuir la superficie bajo cultivo, cuando la disponibilidad hídrica es inferior que la pronosticada.

El primer cálculo que realiza DEFINE es el de los costos inevitables totales, multiplicando CINEV por la superficie definida antes del cambio en la superficie cultivada.

$$CNV1(i,k,l,m) = CINEV(k,l,m) \times X(i,k,l,m)$$

donde:

CNV1(i,k,l,m) costos inevitables totales del cultivo k que es regado por el método l y está ubicado en el suelo m cuando se pronostica el estado i.

CINEV(k,l,m) costos inevitables del cultivo k que es regado por el método l y está ubicado en el suelo m.

En este punto, hay que señalar que las 10 situaciones posibles de ocurrir, cuando hay menos agua que la pronosticada, se han refundido en 4 combinaciones, las que presentan un comportamiento similar al de las situaciones representadas. La fijación de las combinaciones obedece al siguiente esquema:

Situación	Estado pronosticado	Estado real	Combinación
1	5	1	1
2	4	1	
3	3	1	
4	2	1	
5	5	2	2
6	4	2	
7	3	2	
8	5	3	3
9	4	3	
10	5	4	4

La solución del programa (PRUD9), es un arreglo de dimensión (5), en el cual 4 de sus elementos son distintos de cero, representando, cada uno de ellos, a una de las 4 combinaciones. Es, por lo tanto, necesario reubicar los elementos de PRUD9, de acuerdo a la situación que les corresponde, definiéndose, a sí, la matriz XLIST. A continuación, se procede a restarle a XLIST los valores correspondientes de CNV1. Por último, XLIST es reordenado dentro de la matriz de ingresos (ARRAY), de acuerdo con la combinación estado hídrico pronosticado/ocurrente que corresponda.

II-1.34 Subrutina ESC7

Esta subrutina escribe los resultados de la situación en la cual existe una menor disponibilidad hidrica que la pronosticada.

II-1.35 Subrutina ESC7A

En esta subrutina se controlan e imprimen los resultados producidos durante la época mayo-septiembre.

En su primera parte, ESC7A analiza el problema de inversión ociosa que puede estar siendo producida por los métodos de riego a presión. En este caso, para enfrentar el problema anterior, no se recurrirá a las restricciones igualitarias, la estrategia seguida, consiste en permitir la existencia de un rango máximo de variación de las superficies regadas con métodos de riego a presión durante los estados hídricos extremos. La diferencia máxima permitida será del 25%.

En su segunda parte, esta subrutina calcula los beneficios de los cultivos sometidos al proceso contenido en el punto anterior. El cálculo anterior se hace de la forma siguiente:

$$PRODB = ZBEN \times IT \quad \text{donde}$$

PRODB valor de la solución.
 ZBEN beneficios de los cultivos de la época mayo-septiembre.
 IT superficie definida para el cultivo en cuestión.

En su última parte, ESC7A escribe dos tipos de salidas. En las primeras se define el ambiente en el cual se desarrolla el problema durante la época mayo-septiembre. El segundo tipo de salidas, detalla, por estado hídrico, las superficies por cultivo y método de riego que producen la solución óptima.

II-1.36 Subrutina ESC3

Esta subrutina escribe cuales son los requerimientos hídricos, tanto a nivel unitario como agregado, de cada una de las épocas de cultivos que se consideran.

En primer lugar, esta subrutina calcula las tasas de riego de cada cultivo presente en la estrategia óptima, realizando este cálculo tanto para los cultivos de la primera época (septiembre-abril) como para los de la segunda época (mayo-septiembre). A continuación, se calculan los requerimientos hídricos globales por estado hídrico y por mes, escribiendo, a continuación, los resultados producidos. La operación anterior se hace para las dos épocas definidas.

La siguiente operación realizada, es la de calcular los requerimientos hídricos por estado hídrico, mes y cultivo, escribiéndose, a continuación, los resultados. La operación anterior se realiza para las dos épocas consideradas.

La última operación realizada por esta subrutina es el llamado de la subrutina FRIEGO, la que tiene por función el desarrollar un calendario de riegos.

II-1.37 Subrutina FRIEGO

Esta subrutina calcula el calendario de riegos de todos aquellos cultivos que están presentes en el esquema óptimo de la primera época. En este calendario

no se consideran los cultivos regados por goteo, ya que éstos deben ser regados en forma permanente.

En su primer paso realizado por FRIEGO es el cálculo de la profundidad de las raíces durante cada unidad de tiempo que se considere. El cálculo anterior se hace de la siguiente forma:

$$PRAIZ(k,m) = CPRMAX(k) \times \sqrt{m} \quad , \text{ donde}$$

PRAIZ(k,m) profundidad de las raíces del cultivo k durante el día número m.

CPRMAX(k) coeficiente de ajuste del cultivo k.

m corresponde al valor secuencial del día en el cual se desea conocer la profundidad de las raíces.

A continuación, se calcula cual es la altura de agua aprovechable por las raíces. Lo anterior está en relación a la profundidad de las raíces y a la capacidad de retención de humedad del suelo. Una vez definida la humedad aprovechable y, utilizando el coeficiente COEF (desarrollado por REQHID), se calcula cual es la cantidad de agua disponible en el sector de las raíces que puede ser perdida y, que no alterará el normal crecimiento de la planta.

Una vez que las pérdidas permisibles han sido calculadas, ellas son divididas por la evapotranspiración potencial de los cultivos, del momento, obteniéndose,

así, cual será el lapso que tardará en concretarse la pérdida permitida de humedad. El lapso antes calculado, corresponde a la frecuencia de riego a que debe ser sometido el cultivo.

II-1.38 Subrutina ESC4

En su primera parte, ESC4 llama a la subrutina XINGES, la que se encarga de calcular los valores de los ingresos y los costos esperados. En su segunda parte, ESC4 escribe dos tipos de salidas: los valores generados por XINGES y la matriz en la cual se han adicionado los ingresos de las dos épocas de cultivos.

II-1.39 Subrutina XINGES

En su primera parte, esta subrutina calcula la matriz de probabilidades condicionales (PRO1), es decir, la matriz que contiene las probabilidades de ocurrencia de un estado hídrico j dado que se pronosticó uno i. A continuación, los datos contenidos en la matriz de ingresos (ARRAY), son multiplicados por PRO1, obteniéndose, como producto, la matriz de ingresos esperados (XINES) y, calculándose en forma similar, la matriz de costo esperado (XCESP). Por último y, a partir de XINES y XCESP, se calculan los valores globales del beneficio esperado (XIET) como también del costo esperado (CET).

En caso que el modelo de pronósticos empleado tenga una probabilidad de errar mayor que la de acertar,

se le asigna un valor cero a todas las salidas generadas por esta subrutina (XINES, XCESP, XIET y CET), generándose, a continuación, un aviso en el cual se indicará que el modelo de pronósticos debe ser modificado.

En este trabajo se utilizan los resultados generados por el modelo de pronósticos definido para el valle de Elqui por Isensee, Espíldora y Ahumada (45). Este modelo, a partir de una serie de datos meteorológicos, pronostica el volumen de escurrimiento del río Elqui. El pronóstico, se hace con los datos obtenidos hasta el 31 de agosto de cada año, debido a que las precipitaciones posteriores a esa fecha, son escasas y poco incidentes en el caudal del río.

Los datos de escurrimiento del río, se discretizaron en 5 rangos, siendo éstos los siguientes:

- Estado 1 : muy seco. Caudales con probabilidad de excedencia de un 85% o mas.
- Estado 2 : seco. Caudales con probabilidades de excedencia entre 60% y 85%.
- Estado 3 : normal. Caudales con probabilidades de excedencia entre 40% y 60%.
- Estado 4 : húmedo. Caudales con probabilidades de excedencia entre 15% y 40%.
- Estado 5 : muy húmedo. Caudales con probabilidad de excedencia de 15% o menos.

En este trabajo no se especificará el funcionamiento del modelo de pronósticos, sólo se prestará atención a los resultados generados por él.

El ordenamiento de los datos provenientes del modelo de pronósticos y, su concordancia con lo ocurrido en la realidad, se realiza en una matriz del siguiente tipo:

	OC1	OC2	....	OC(j-1)	OCj
PRD1	X1,1	X1,2	....	X1,j-1	X1,j
PRD2	X2,1	X2,2	....	X2,j-1	X2,j
....
PRD(i-1)	Xi-1,1	Xi-2,2	....	Xi-1,j-1	Xi-1,j
PRUj	Xi,1	Xi,2	....	Xi,j-1	Xi,j

donde:

- PRDi pronóstico del estado hídrico i.
- PRUj ocurrencia del estado hídrico j.
- Xi,j número de años durante los cuales se pronosticó el estado hídrico i y ocurrió el estado j.

Siguiendo la pauta definida por la matriz anterior, los autores recién nombrados ordenaron los datos correspondientes al período comprendido entre los años hidrológicos 51-52 y 75-76. El resultado de lo anterior está contenido en el Cuadro I-80.

Para calcular cada uno de los elementos de la matriz de probabilidades, se utilizó la siguiente fórmula:

$$PROB(i,j) = X(i,j)/H(i) \quad , \text{ donde}$$

PROB(i,j) probabilidad de ocurrencia de un estado hídrico j dado que se pronosticó uno i.

$X(i,j)$ número de años durante los cuales se pronosticó el estado hídrico i y ocurrió el estado hídrico j .

$H(i)$ número de años durante los cuales se pronosticó el estado hídrico i .

En caso de tener un modelo de pronósticos que sea 100% exacto, la matriz de probabilidades tendrá una diagonal principal compuesta de valores unitarios, siendo, al resto de sus elementos, de valor cero. Mientras menos exacto sea el modelo de pronósticos, los valores de la diagonal principal tenderán a acercarse al valor cero. Cuando ocurre que, dentro de una misma columna, existe un elemento $PROB(i,j)$ mayor que el elemento $PROB(j,j)$, quiere decir que el modelo de pronósticos tiene mayor probabilidad de errar que de acertar en el pronóstico, por lo tanto, se trata de un modelo ineficiente. Cuando ocurre lo anterior, se le asigna un valor cero a todas las salidas que genera esta subrutina.

Para calcular el ingreso esperado de cada una de las posibles combinaciones pronóstico/ocurrencia, se realiza la siguiente operación:

$$XINES(i,j) = ARRAY(i,j) \times PROB(i,j)$$

donde:

$XINES(i,j)$ ingreso esperado para la situación durante la cual se pronosticó el estado hídrico i y ocurrió el estado hídrico j .

$ARRAY(i,j)$ ingreso generado por la situación en la cual se pronosticó el estado hídrico i y

ocurrió el estado hídrico j.

Las matrices ARRAY y PROB se multiplican en forma matricial.

La obtención del ingreso esperado global y del costo esperado global, siguen una misma mecánica. Este procedimiento, consiste en seleccionar los elementos de la diagonal principal de las matrices de ingresos (ARRAY) y de costos (CARRAY) y, multiplicarlos por las probabilidades de ocurrencia del estado hídrico correspondiente.

$$\begin{aligned}
 \text{XIET} &= \sum_{j=1}^J [\text{ARRAY}(j,j) \times \text{PPRON}(j)] \\
 \text{CET} &= \sum_{j=1}^J [\text{CARRAY}(j,j) \times \text{PPRON}(j)] \quad , \text{ donde}
 \end{aligned}$$

- XIET ingreso esperado global.
 CET costo esperado global.
 CARRAY(j,j) elementos que forman la diagonal principal de la matriz de costos.
 ARRAY(j,j) elementos que forman la diagonal principal de la matriz de ingresos.
 PPRON(j) probabilidad de ocurrencia del estado hídrico j. Este valor, corresponde a la razón entre los años que ocurre el estado hídrico j y, el total de años considerados.

II-1.40 Subrutina ESC5

Esta subrutina analiza los resultados de la solu

ción dual y, que se refieren al recurso agua. En caso que todos los elementos duales tengan un valor cero, el agua no será un recurso restrictivo, por lo tanto, el procesamiento de esta subrutina se da por terminado. Si lo anterior no ocurre, ESC5 llama a la subrutina DUA2, la que tiene por objeto calcular el rango en el cual puede variar la disponibilidad hídrica, sin que se vea afectada la solución óptima existente. Seguidamente, ESC5 calcula cual es el valor que el programa le asigna al agua de riego, durante los meses críticos. El cálculo anterior se hace a partir de la solución dual.

Por último, ESC5 escribe los resultados antes enunciados: valor asignado al agua y rango en el cual puede variar la dotación actual de recurso agua, sin que varía la solución alcanzada.

II-1.41 Subrutina DUA2

El objetivo de esta subrutina, es el de buscar un coeficiente que represente la importancia relativa que poseen los valores expresados por la sensibilidad de recursos, dentro de cada uno de los estados hídricos.

Primeramente, se calculan, por estado hídrico y por cultivo, los requerimientos hídricos mensuales para cada mes que tenga un valor dual distinto de cero, definiéndose, posteriormente, a nivel agregado por estado. A continuación, se calculan los valores duales de cada estado (SUMDU). Por último, SUMDU se divide por la primera de las expresiones calculadas.

II-1.42 Subrutina ESC6

Esta es una subrutina bifuncional. El funcionamiento de una de las dos partes está controlado por el comando LISTA, el que es definido en la subrutina GUIA.

En su primera parte, ESC6 llama a la subrutina HULG, la que controla la escritura de los meses que presentan la característica de ser críticos. Otro proceso realizado, dentro de esta primera parte, es el reordenamiento dimensional de las matrices de sensibilidad de costos (COINF, COSUP), de tal forma, de llevarlas a un formato susceptible de ser analizado por el MTO. Por último, dentro de la primera parte, ESC6 llama a la subrutina HULG2, la que calcula los máximos rangos entre los cuales pueden oscilar los precios de venta de los cultivos considerados en la solución óptima, sin que varíe la solución óptima alcanzada.

La segunda parte de ESC6, controla la escritura de los resultados provenientes del análisis paramétrico del MPL.

A continuación, se detallan las salidas escritas por esta parte de la subrutina:

- a) Valores duales por mes, del agua.
- b) Sensibilidad de los costos.
- c) Sensibilidad de los recursos.
- d) Holguras de las restricciones duales.
- e) Holguras de las restricciones primales.

II-1.43 Subrutina HOLG

Esta subrutina escribe las características, tanto temporales como relativas, de la escasez de agua de riego. El análisis temporal consiste en la identificación de los meses durante los cuales el agua es un limitante para la expansión de la superficie bajo cultivo. El análisis relativo considera, por un lado, el total de los años que presentan al menos un mes crítico y, por otro, la incidencia porcentual de los meses críticos en relación al total de meses del período (8 meses).

El primer análisis, el temporal, se hace a partir de las holguras de las restricciones primales (HRP), identificando, para cada estado hídrico, los meses cuya holgura sea cero. El segundo de los análisis, el relativo, también se hace a partir de HRP. En primer lugar, se calcula el número de estados hídricos que presentan, al menos un mes, con una holgura de valor cero, seguidamente, se calcula la incidencia porcentual de los meses críticos, en el total de meses del período.

II-1.44 Subrutina HOLG2

La función de HOLG2 es la de calcular y escribir los rangos extremos entre los cuales pueden oscilar los precios de venta, de los cultivos presentes en la solución óptima, sin que ocasionen un cambio en los resultados del MTU. El cálculo anterior, se hace a partir de las sensibilidades de costos (C1OUT y CSOUT).

La primera operación que realiza esta subrutina es la de calcular el número de estados hídricos durante los que una combinación cultivo-método de riego es tá presente en la solución óptima (DIV). A continuación y, para cada combinación cultivo-método de riego sometida a restricción igualitaria, son asignados como valores de sensibilidad de costos, los valores definidos por la subrutina VERYF (C1OUT1 y CSOUT1).

La siguiente operación que realiza H0LG2, es la de reagrupar las matrices C1OUT y CSOUT en las matrices SUM y SUM1, respectivamente, que corresponden a los valores agregados, por cultivo y método de riego, de las sensibilidades de costos. Posteriormente, SUM y SUM1 se dividen por DIV, calculándose, así, el valor promedio que alcanza cada una de estas expresiones a través de los estados hídricos durante los cuales está presente en la solución óptima. El paso siguiente es el dividir, las expresiones recién calculadas por la matriz de beneficios (BENEF), determinándose, así, las cotas inferiores (XSUP) y superiores (XLINF) de las variaciones permitidas de los beneficios.

Por razones de presentación, se supone que esa variación máxima permitida de los beneficios es consecuencia de la variación de los precios de venta, cuando todos los demás factores relacionados permanecen constantes. Como consecuencia de lo tratado en el punto anterior, las máximas cotas de variacion (XSUP y XLINF), son multiplicadas por los coeficientes de variacion de los precios de venta de los cultivos corres

pondientes. Los coeficientes de variación de los precios de venta, indican la incidencia porcentual que tiene una variación de los precios de venta, en la variación de los beneficios de los cultivos (Cuadro I-86).

II-1.45 Modificaciones a RIEGOP

A partir de la observación del diagrama de flujo correspondiente a RIEGOP (Figura II-1.), puede apreciarse que este programa posee una estructura modular, ya que la mayor parte de sus componentes pueden ser cambiados, o bien, se le pueden agregar otros módulos. Las alteraciones del programa, pueden tener por objeto el centrar, mejorar, ampliar o darle al programa usos distintos de para los que él fue originalmente planeado.

Haciendo uso de las características antes mencionadas, se adicionaron cuatro subrutinas al programa RIEGOP. Las cuatro subrutinas adicionadas son CICLO, CHAN2, CHANZ y CHASAL. La ubicación espacial y las relaciones que se establecen con el programa principal, están contenidos en la Figura II-46. La parte con rayado diagonal, corresponde a la fracción de RIEGOP que no se ha modificado; por otro lado, la parte encerrada por líneas segmentadas corresponde a los módulos y funciones adicionadas.

Las subrutinas adicionadas están incorporadas en un proceso cíclico, en el cual se puede averiguar cual

es el comportamiento del modelo, cuando éste es sometido a cambios sucesivos de una de las variables. El programa está diseñado para que sólo una de las subrutinas de cambio (CHAN2, CHANZ o CHASAL) pueda ser operable por vez. El control sobre la operación de cada una de estas subrutinas, está dado por variables de control (KMB, LITER y SALT).

II-1.45.1 Subrutina CICLO

Esta subrutina tiene por objeto al escribir las características del proceso iterativo que se está realizando. Este proceso sólo se hace para la primera iteración.

II-1.45.2 Subrutina CHAN2

Esta subrutina controla el proceso de asignarle distintos precios al metro cúbico de agua utilizado.

Primeramente, CHAN2 escribe los beneficios globales por estado hídrico y, que son generados por la solución óptima.

En su segunda parte, CHAN2 calcula el precio asignado, durante la iteración, al metro cúbico; escribiendo, por último, el precio anteriormente calculado. El valor del precio definido para la iteración es reciclado a la subrutina CHANGE, calculándose allí los nuevos valores de beneficio por hectárea que genera cada combinación cultivo-método de riego que se considera en este programa.

II-1.45.3 Subrutina CHANZ

Esta subrutina calcula que efecto produce, en los resultados del modelo, un cambio en las disponibilidades hídricas. Básicamente, dos son las partes que constituyen a CHANZ. La primera, calcula el coeficiente de multiplicación (DELTA2) que corresponde a la variación porcentual de las disponibilidades de agua. El valor de DELTA2 es reciclado a CHAN1, en donde se calcula la nueva disponibilidad hídrica.

II-1.45.4 Subrutina CHASAL

Mediante esta subrutina puede apreciarse cuál es el efecto que tendrán, sobre los rendimientos, distintas concentraciones de sal.

Al igual que la subrutina anterior, CHASAL cuenta con dos partes claramente identificables. La primera, calcula los valores de concentración de sales que corresponden a la iteración. La segunda parte, escribe los valores de concentración de sales que se calcularon en el punto anterior.

Los valores de conductividad eléctrica, son reciclados a CHAN1.

II-2. GLOSARIO

Anparm	resultados del análisis paramétrico.
Array	matriz de ingresos.
As	número de cultivos que son afectados por la concentración de sales que existe.
Bed	beneficios generados por los cultivos cuando se produce una situación de escasez de agua.
Benef	matriz de beneficios.
Bmod	matriz de beneficios para la situación en la cual hay menos agua que la pronosticada.
Brray	matriz de beneficios que incluye los resultados del período sin problemas con agua.
Bsum	superficie plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico más seco.
C	tasa de riego para los cultivos de la época septiembre-abril.
Carray	matriz de costos totales.
Cet	costo esperado.
Cev	matriz de costos evitables.
Cinev	matriz de costos inevitables.
Ciout	sensibilidad de los costos.
Cioutl	sensibilidad de los costos existente después del primer llamado de MPL.
Coef	máxima disminución de la disponibilidad hídrica que no produce una disminución de los rendimientos.
Coefl	disminución porcentual de los rendimientos.
Combi	combinaciones cultivo-método de riego consideradas.

Cost	matriz de costos totales.
Cp	cultivo permanente.
Csout	sensibilidad de los costos (cota superior).
Csout1	sensibilidad de los costos existente después del primer llamado de MPL (cota superior).
Cvar	variación porcentual deseada para las matrices de beneficios (Benef) y para la de costos totales (Cost).
D	diferencia existente entre las superficies plantadas con cultivos permanentes durante los estados hídricos extremos.
De	diferencia entre las superficies regadas con métodos de riego a presión durante los estados hídricos extremos.
Delta2	coeficiente de variación de la disponibilidad hídrica.
Dhmc	disponibilidad hídrica mensual existente entre mayo y septiembre.
Dif	diferencia, por cultivo, entre la superficie regada con un método de riego a presión durante el estado hídrico más seco y su similar regada durante el estado hídrico más húmedo.
Disp	disponibilidad hídrica mensual existente entre los meses de septiembre y abril.
Disph	disponibilidad hídrica global por estado hídrico.
Div	veces que un cultivo aparece en la solución óptima.
Ece	conductividad eléctrica del extracto de una solución saturada de suelos.

Ecma1	estrategia de conservar el esquema de culti <u>u</u> vos cuando hay menos agua que la pronosticada,
Ecma2	estrategia de cambiar el esquema de cultivos cuando hay menos agua que la pronosticada.
Ecw	conductividad eléctrica del agua.
Etpd	evapotranspiración potencial de los cultivos.
F	tasa de riego de los cultivos de la época ma <u>y</u> o-septiembre.
Hdl	requerimientos hídricos diarios por cultivo y método de riego.
i	número de estados pronosticados.
j	número de estados reales u ocurrentes.
Kmb	decisión de cambiar la matriz de beneficios.
Kmb1	decisión de asignarle precio al agua.
Kotrol	número de restricciones igualitarias.
Ldef	control de escritura de la matriz Brray.
Lesc1	control de escritura para los datos introduc <u>t</u> orios del modelo.
Lesc1a	control de escritura de las restricciones <u>i</u> gualitarias.
Lesc2	control de escritura de las superficies ópti <u>m</u> as.
Lesc2a	control de escritura de la matriz de ingreso.
Lesc3	control de escritura de los requerimientos h <u>í</u> dricos.
Lesc4	control de escritura del ingreso esperado.
Lesc5	control de escritura del valor dual del agua.
Lesc6	control de escritura del análisis de sensibi <u>l</u> idad.

Lesc7	control de escritura para la situación cuando ocurre un estado hídrico de menor disponibilidad de agua que la pronosticada.
Lesc7a	control de escritura de las superficies óptimas de la época mayo-septiembre.
Lescs	control de escritura para el aviso generado cuando hay una situación de exceso de sales.
Liter	coeficiente de control para la situación en la cual se hacen cambios sucesivos en las disponibilidades de agua.
Mandn	coeficiente de control de la subrutina Fosi.
Mpl	modelo de programación lineal.
Mtd	modelo de toma de decisiones.
Ncp	número de cultivos permanentes.
Ncss	número de cultivos sembrados durante septiembre.
Ndes	decisión sobre darle al suelo un segundo uso.
Nmrp	número de métodos de riego a presión.
Nvec	número de veces que se desea cambiar el precio del metro cúbico de agua utilizado.
Obj	expresión unidimensional de Benef.
Obj1	función objetivo de Mpl.
Order	coeficiente de control de la subrutina Esc2a.
P	precio de venta de los cultivos.
Pd	requerimientos hídricos globales por estado hídrico.
Pdh	requerimientos hídricos por estado, mes, cultivo y método de riego.
Pdi	requerimientos hídricos globales por mes y estado hídrico.

Pdj	requerimientos hídricos por estado, mes, <u>cul</u> tivo y método de riego para la época mayo-sep <u>tiembre</u> .
Pdk	requerimientos hídricos globales de los <u>cul</u> tivos de la época mayo-septiembre.
Praiz	profundidad de las raíces.
Pre	diferencia entre las superficies regadas con métodos de riego a presión durante los esta <u>dos</u> hídricos extremos.
Prec	precio asignado al metro cúbico del agua.
Pro1	matriz de probabilidad condicional.
Prob	probabilidad de ocurrencia de cada uno de los estados hídricos.
Prod	valor de la solución óptima para la situación base.
Prod6	valor de la solución óptima cuando se lavan las sales.
Prod9	valor de la solución óptima cuando se <u>modifi</u> ca el esquema original de cultivos.
Prodz	valor de la solución óptima cuando se <u>manti</u> ene el esquema de cultivos.
Prt	incidencia porcentual de los meses críticos en el total.
Prx	porcentaje de los años que presenta al menos un mes crítico.
Red	rendimientos alcanzados por los cultivos <u>cu</u> ando estos son regados con una cantidad de agua inferior a sus necesidades.

Ref	disminución porcentual de la disponibilidad hídrica.
Reh	requerimientos hídricos por mes, cultivo y <u>mé</u> todo de riego.
Rek	requerimientos de agua en los cuales están considerados los requerimientos para lavar las sales.
Rend	matriz de rendimientos.
Res	número de veces en las cuales el valor dual del agua es distinto de cero.
Resint	sumatoria de los ingresos esperados.
Rest	reordenamiento dimensional de la matriz Reh.
Restr	matriz de coeficientes.
Restrl	matriz de coeficientes para la situación <u>du</u> rante la cual no hay restricciones de agua.
Ret	sumatoria de los productos generados durante el período mayo-septiembre.
Rhmcs	requerimientos hídricos mensuales de los <u>cul</u> tivos de la época mayo-septiembre.
Rhs	lados derechos de las desigualdades.
Rhside	lados derechos del problema base.
Rhsx	lados derechos de la época mayo-septiembre.
Rkp0	superficie plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico más seco.
Rl	requerimientos de lavado de sales.
Sacsum	superficie plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico más húmedo.
Salt	coeficiente de control para la situación en la cual se cambia el contenido de sales.

Scpsum	superficie plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico más seco.
Sigma	cantidad en la cual es variado el precio del metro cúbico de agua.
Skp0	superficie total plantada con cultivos permanentes durante el estado hídrico más seco.
Start	coeficiente de control de la subrutina Chan1.
Stotal	superficie de suelo disponible.
Suelo	capacidad de retención de agua del suelo.
Sum	cota inferior de variación de la sensibilidad de costos.
Sum1	cota superior de variación de la sensibilidad de costos.
Sumdu	importancia relativa de la sensibilidad de los recursos respecto al total del estado hídrico respectivo.
Supcon	mínima cantidad de superficie que permite el establecimiento de cultivos para la época mayo-septiembre.
Supcp	superficie plantada con cultivos permanentes.
Supss	superficie sembrada durante septiembre.
Suptot	superficie disponible para ser sembrada durante la época mayo-septiembre.
Toylp	modelo de programación lineal utilizado en este trabajo.
Tpt	coeficiente de control para la situación en la cual hay menos agua que la pronosticada.
Tt	solución primal para los cultivos de la época mayo-septiembre.

Tvol	cota máxima de variación de la disponibilidad de agua que no provocará un cambio del valor dual del agua.
Usum	superficie regada con métodos de riego a presión durante el estado hídrico más seco.
Valor	coeficiente de control de la sección destinada para evaluar los cultivos permanentes.
Varia	variación porcentual de la disponibilidad hídrica.
Vl	solución del Mpl.
Vsum	superficie regada con métodos de riego a presión durante el estado hídrico más húmedo.
Vt	solución primal generada por Toylp.
X	solución primal del problema base.
X6	solución primal cuando se lavan las sales.
X9	solución primal cuando se cambia el esquema de cultivos.
Xcesp	costo esperado.
Xdef	resultado de restarle a Prod9 los costos inevitables.
Xiet	beneficio esperado.
Xines	matriz de ingreso esperado.
Xlinf	cota superior de variación de los precios y que no ocasionará un cambio de la estructura existente de cultivos.
Xlist	expresión unidimensional de Xdef.
Xnv	número de veces que se desea cambiar la disponibilidad de agua.
Xnvcs	número de veces que se desea cambiar la concentración de sales.

- Xsup cota inferior de variación de los precios y que no ocasionará un cambio de la estructura existente de cultivos.
- Y matriz de restriz que contiene a las restricciones igualitarias.
- Yr1 matriz equivalente a la matriz Y, en la que todos los elementos de Y distintos de cero tienen en esta matriz un valor unitario.
- Z disminución porcentual de los beneficios ocasionada por la concentración de sales existente.
- Z9 sumatoria de los productos generados durante la época mayo-septiembre.
- Zben beneficios generados por los cultivos definidos para la época mayo-septiembre.

II-3. DIAGRAMAS DE FLUJO

A continuación se presentan los diagramas de flujo de las subrutinas que constituyen el modelo de optimización. La secuencia en la cual están dibujados los diagramas es la misma que la seguida en la primera parte de este Apéndice.

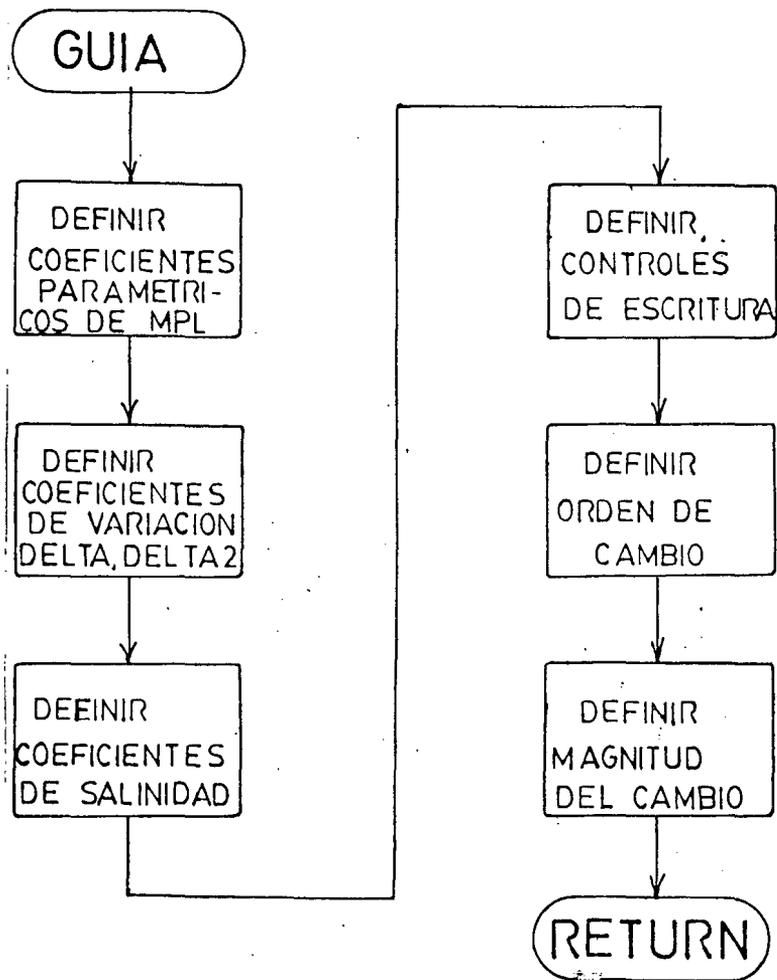


FIGURA II-2. Subrutina Guia

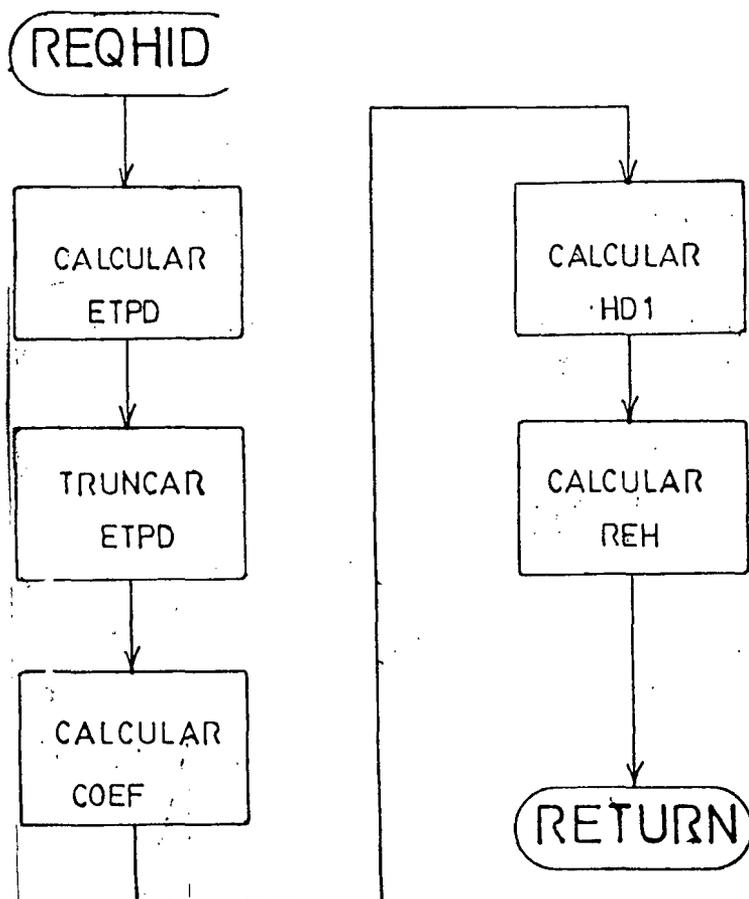
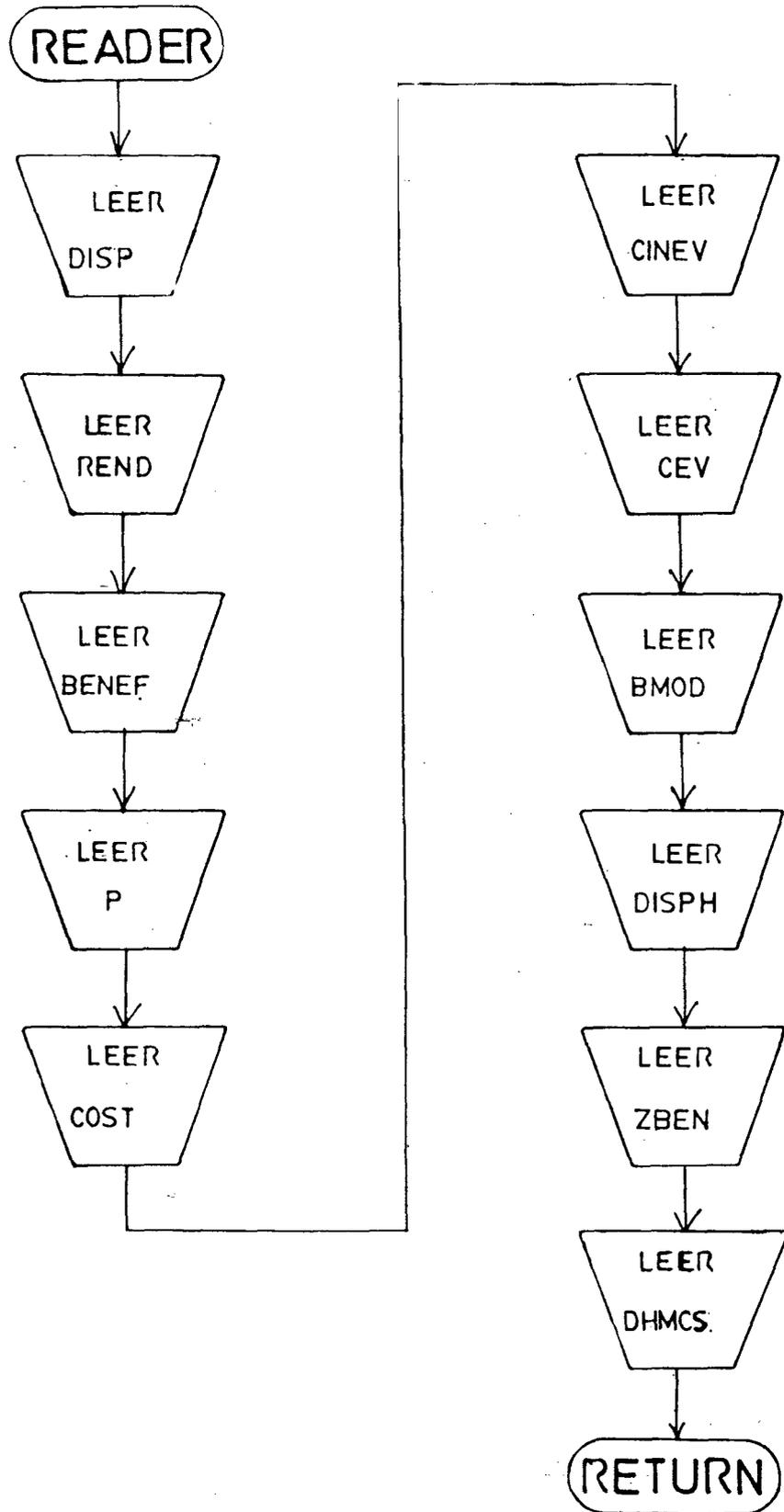
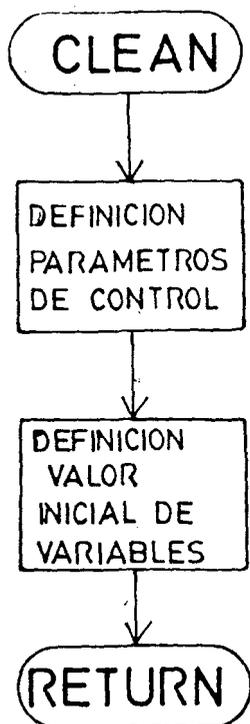
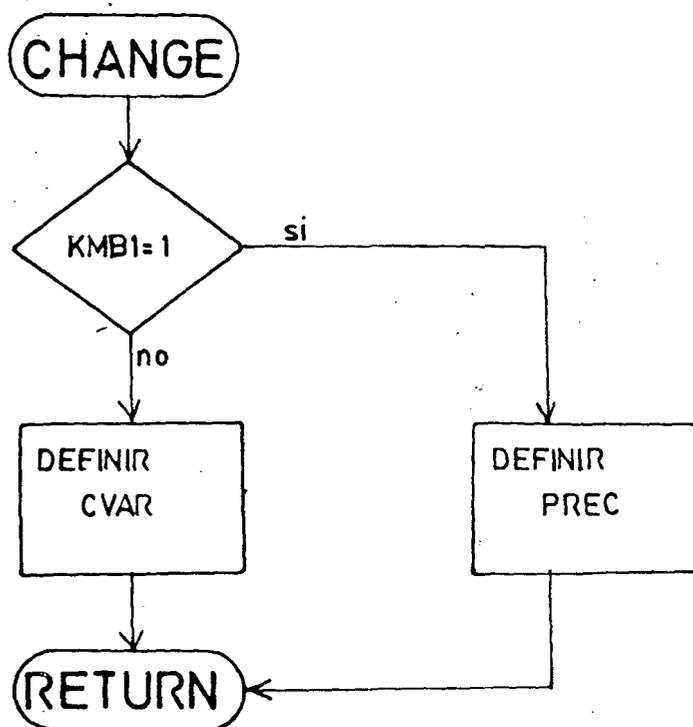


FIGURA II-3. Subrutina Reqhid

FIGURA II-4. Subrutina Reader.

FIGURA II-5. Subrutina CleanFIGURA II-6. Subrutina Change

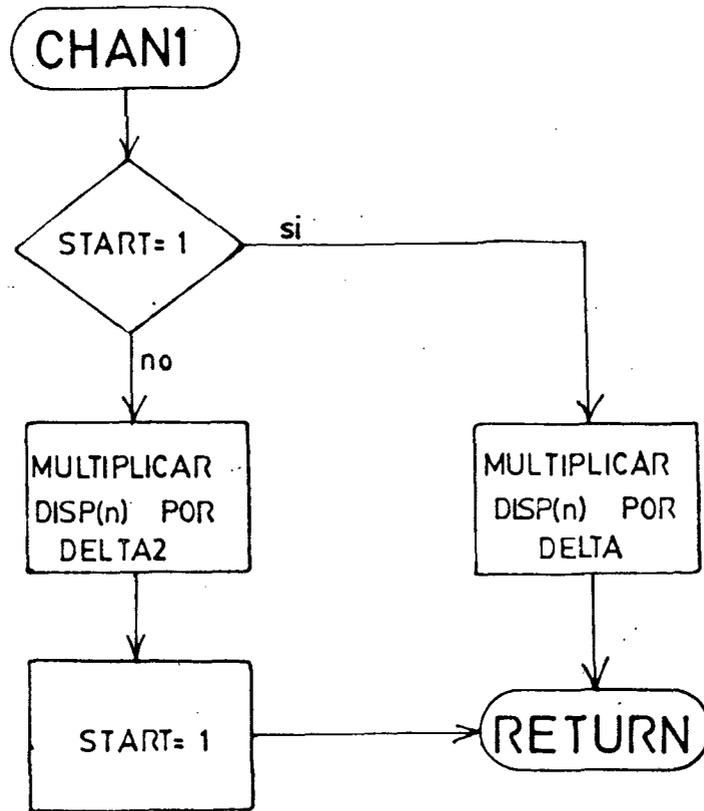


FIGURA II-7. Subrutina Chan1

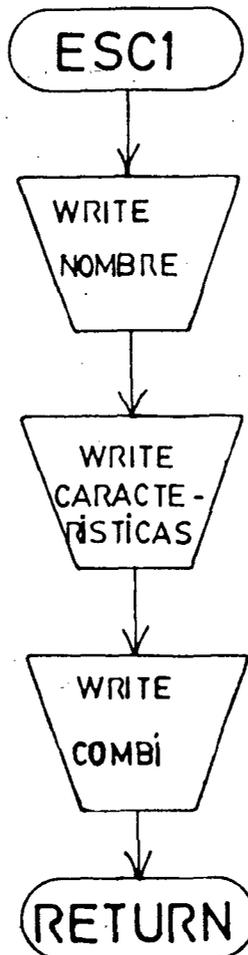
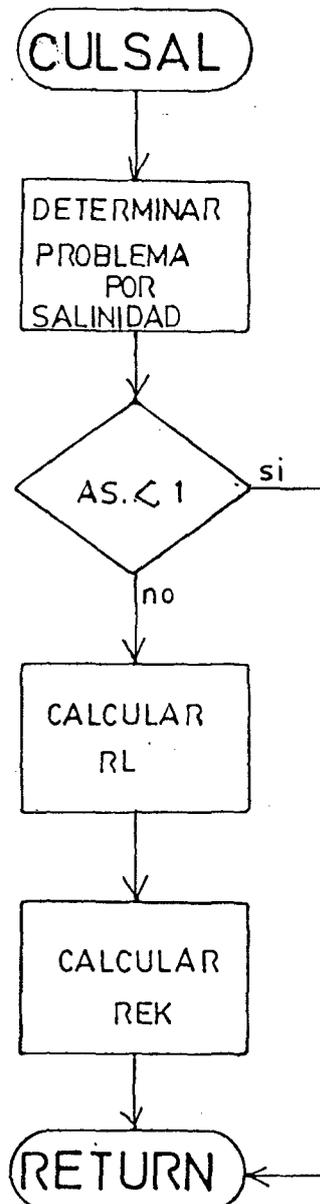
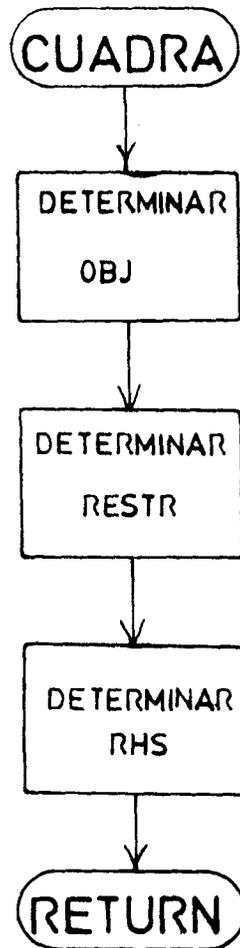
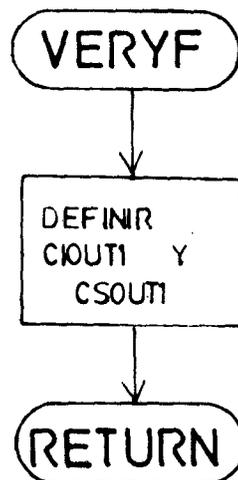


FIGURA II-8. Subrutina Escl

FIGURA II-9. Subrutina Culsal

FIGURA II-10. Subrutina CuadraFIGURA II-11. Subrutina Verdyf

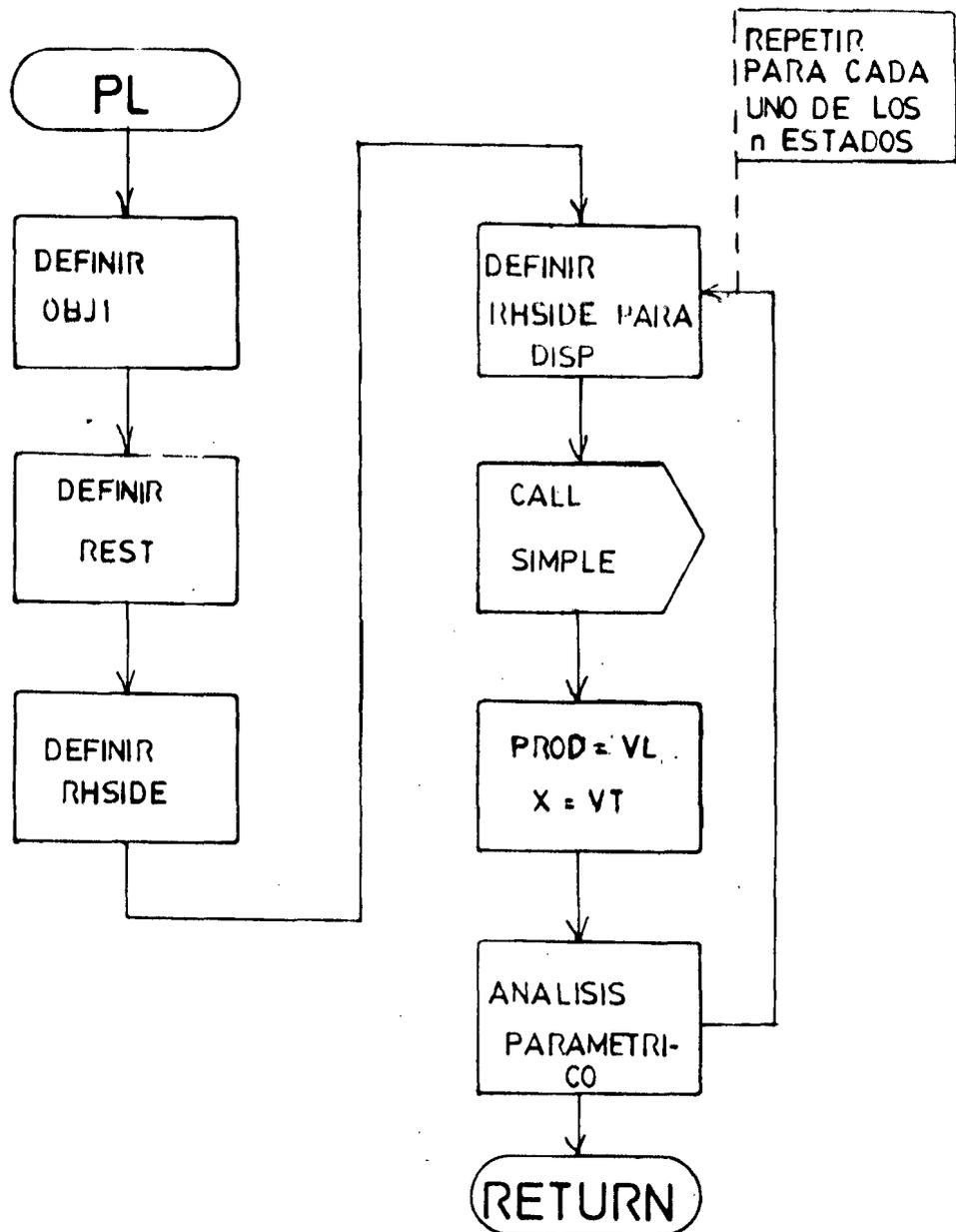


FIGURA II-12. Subrutina PL

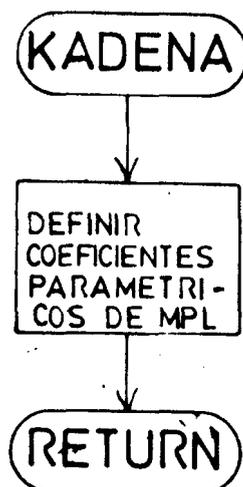


FIGURA II-13. Subrutina Kadena

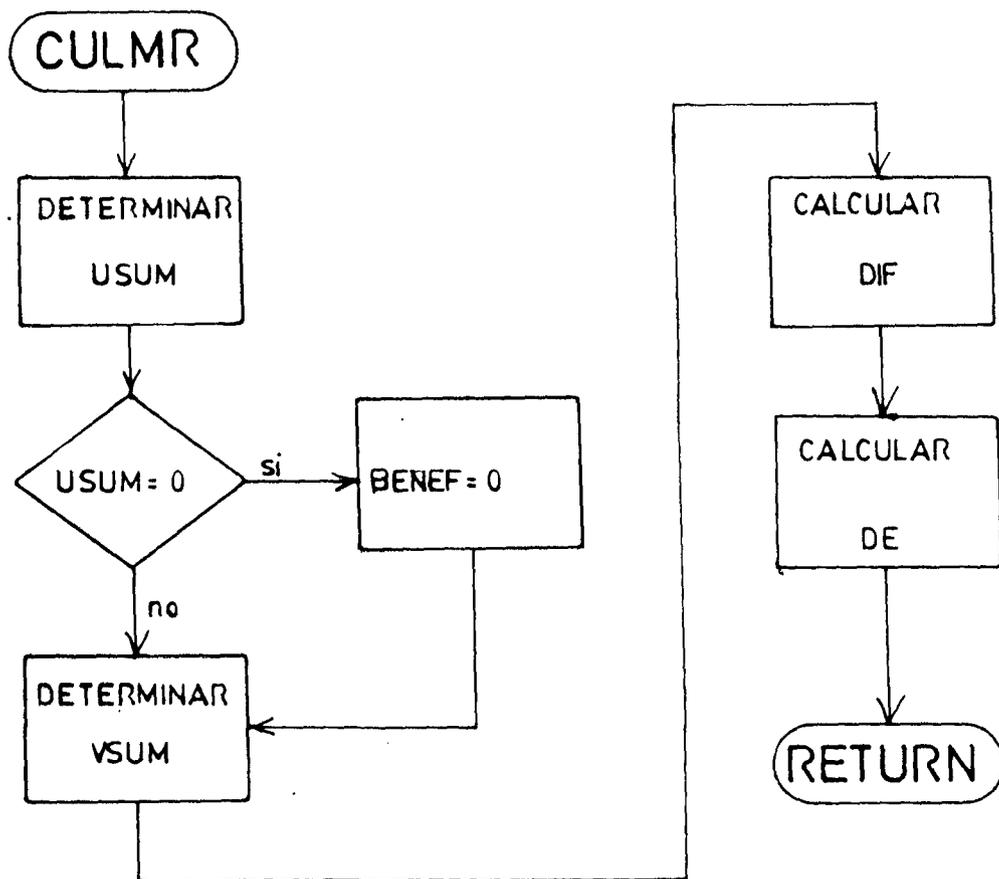
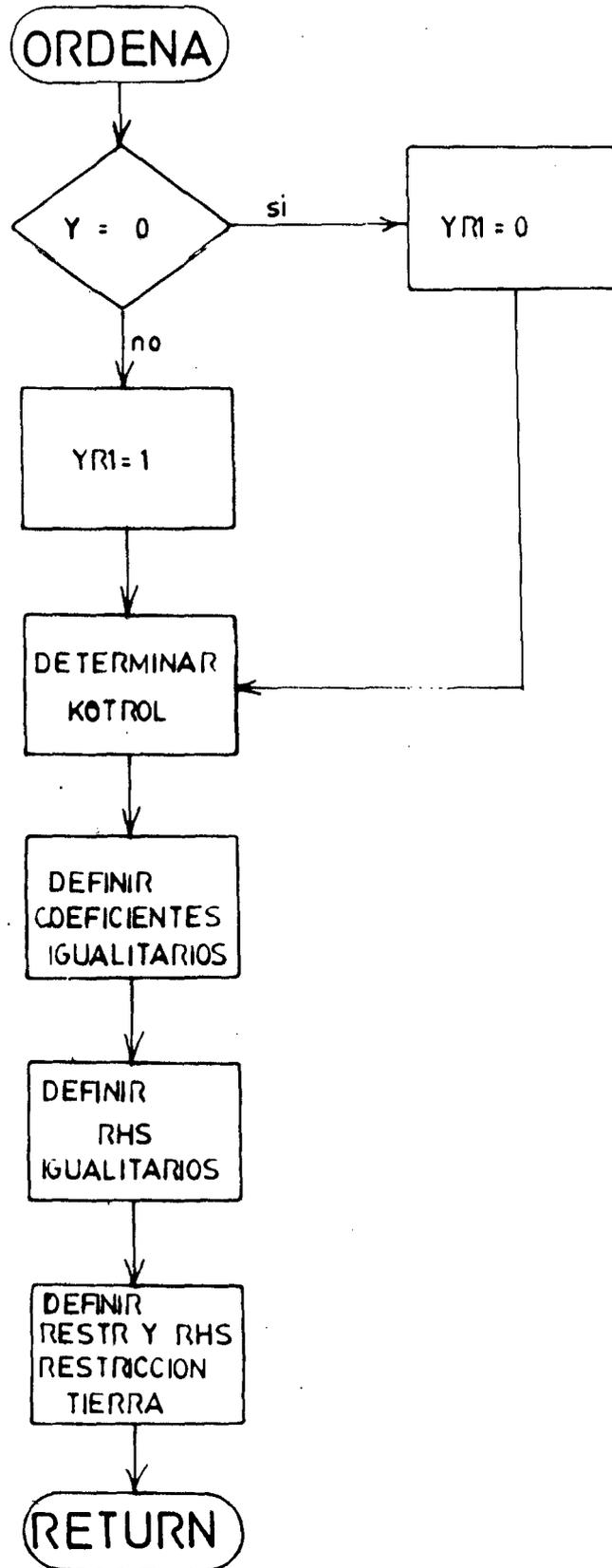


FIGURA II-14. Subrutina Culmr



FIGURA II-15. Subrutina Strong

FIGURA II-16. Subrutina ordena

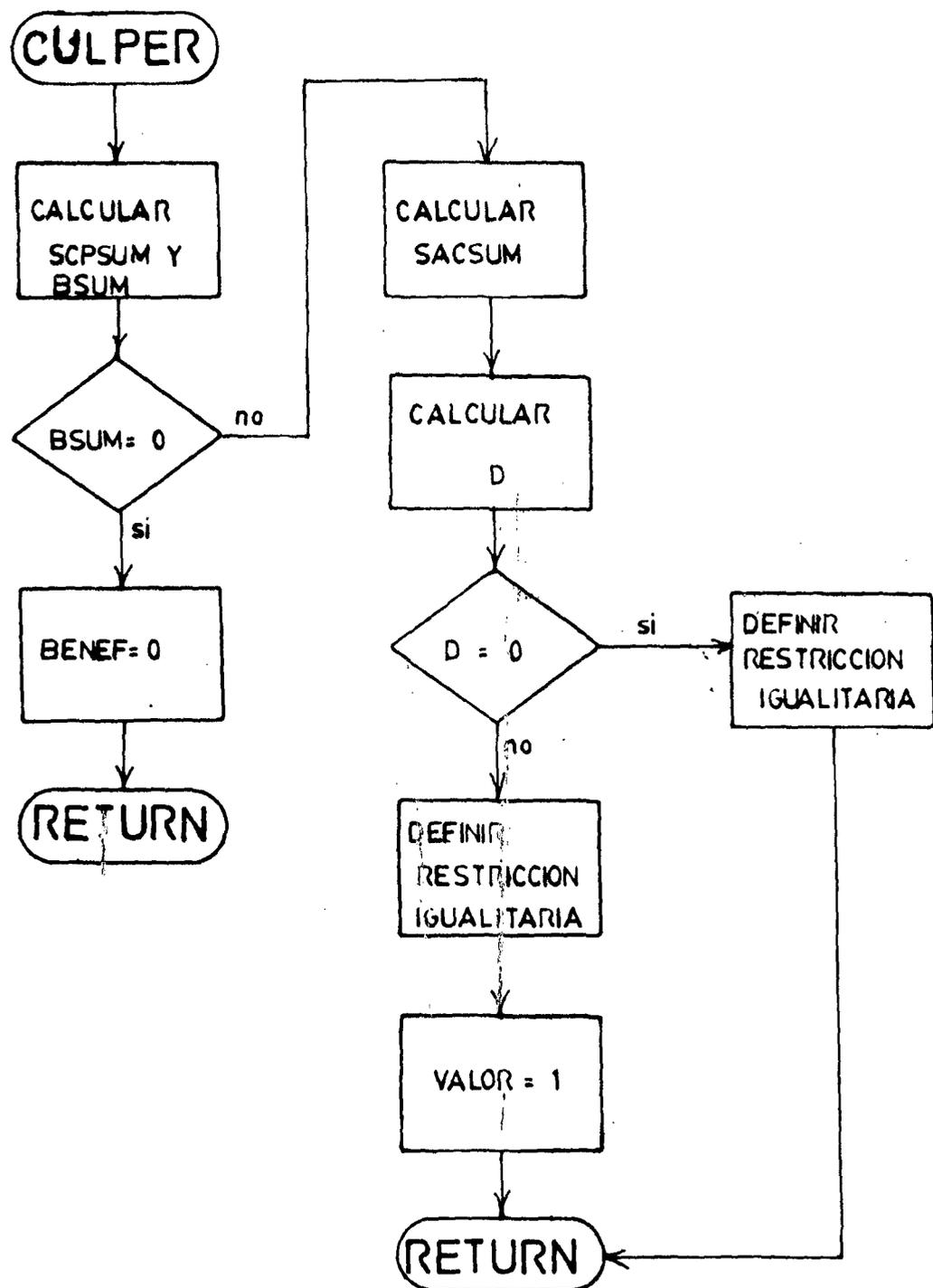
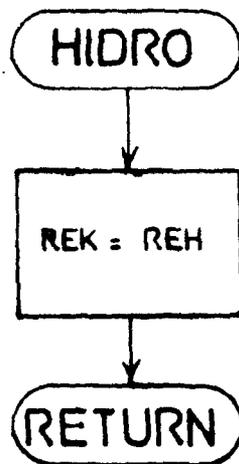
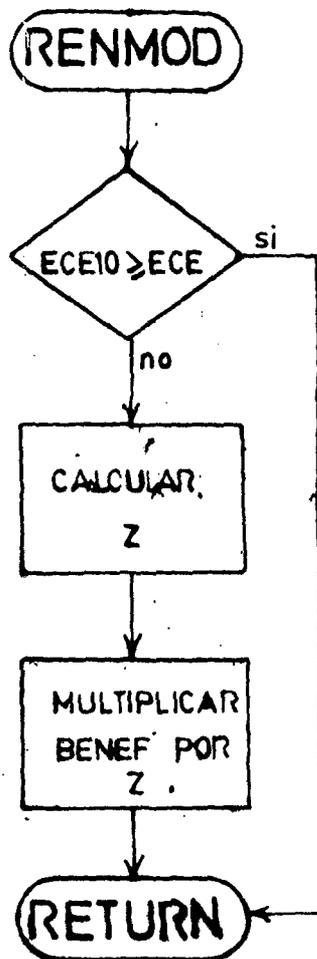


FIGURA II-17. Subrutina Culper

FIGURA II-18. Subrutina HidroFIGURA II-19. Subrutina Renmod

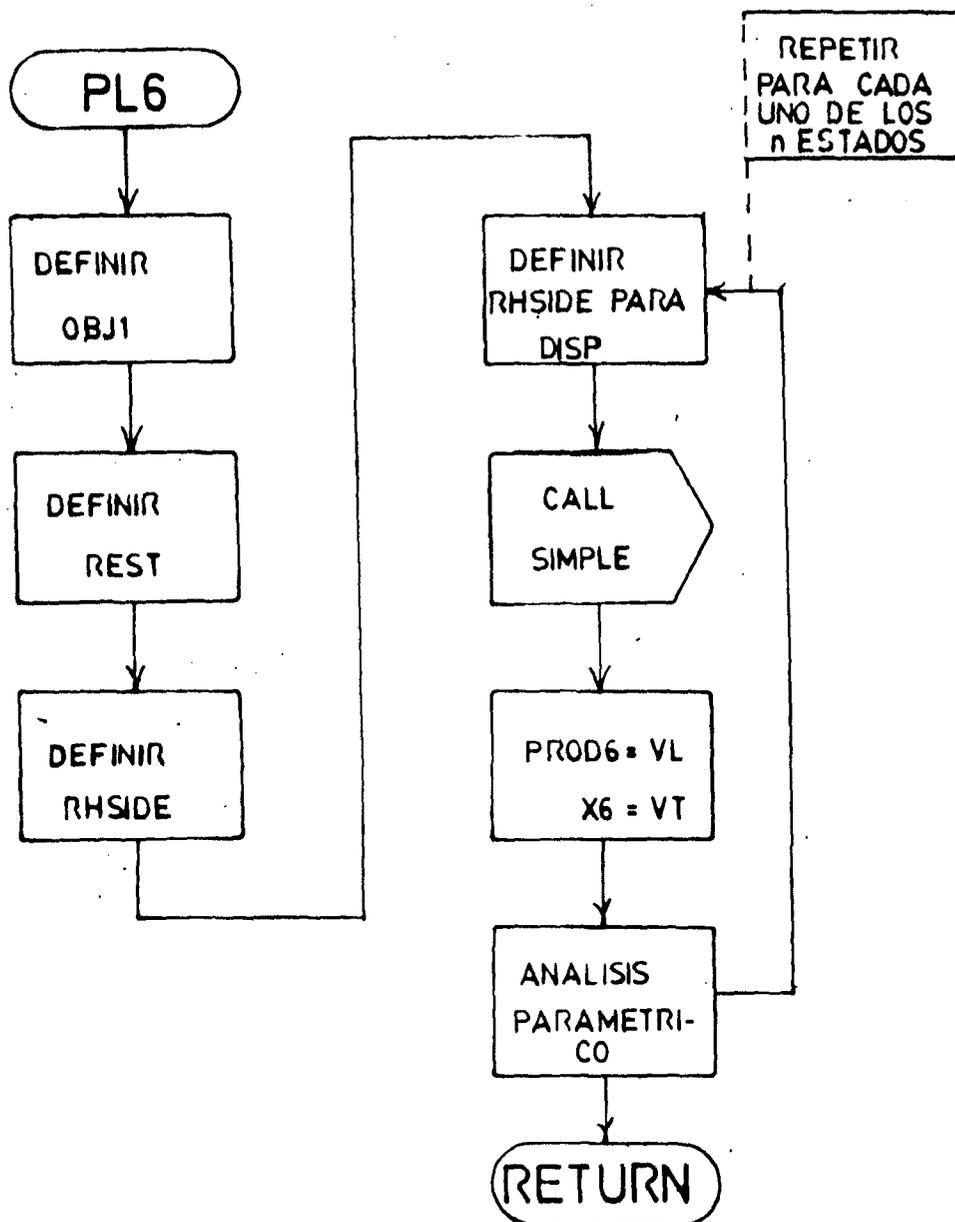


FIGURA II-20. Subrutina PL6

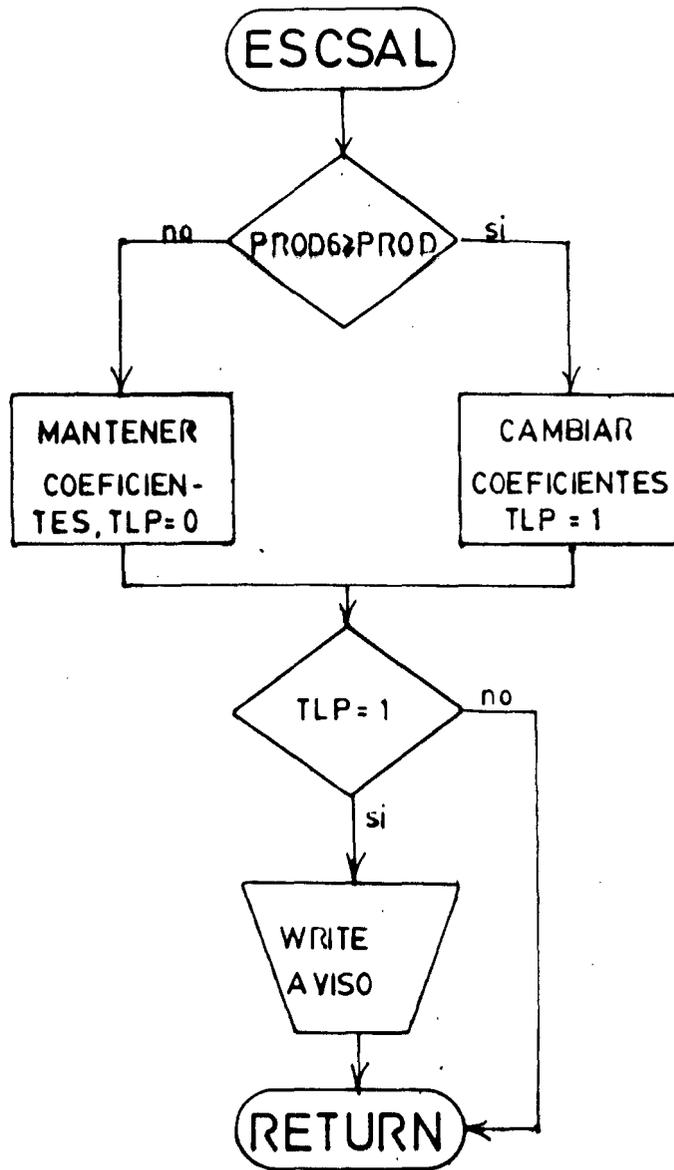


FIGURA II-21. Subrutina Escsal

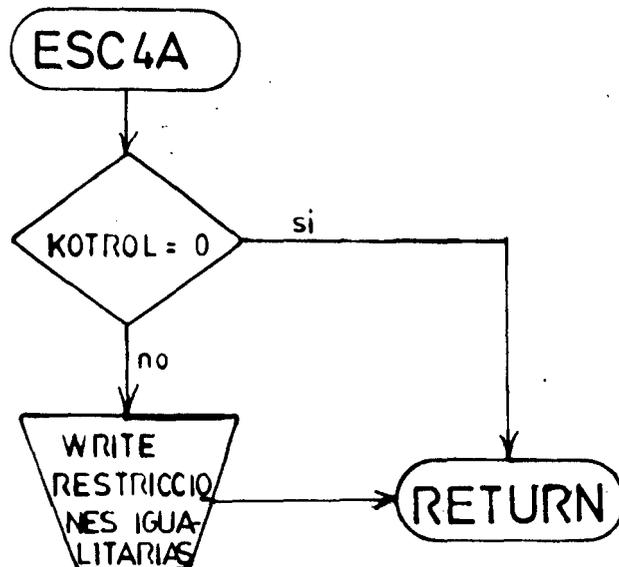


FIGURA II-22. Subrutina Esc4a

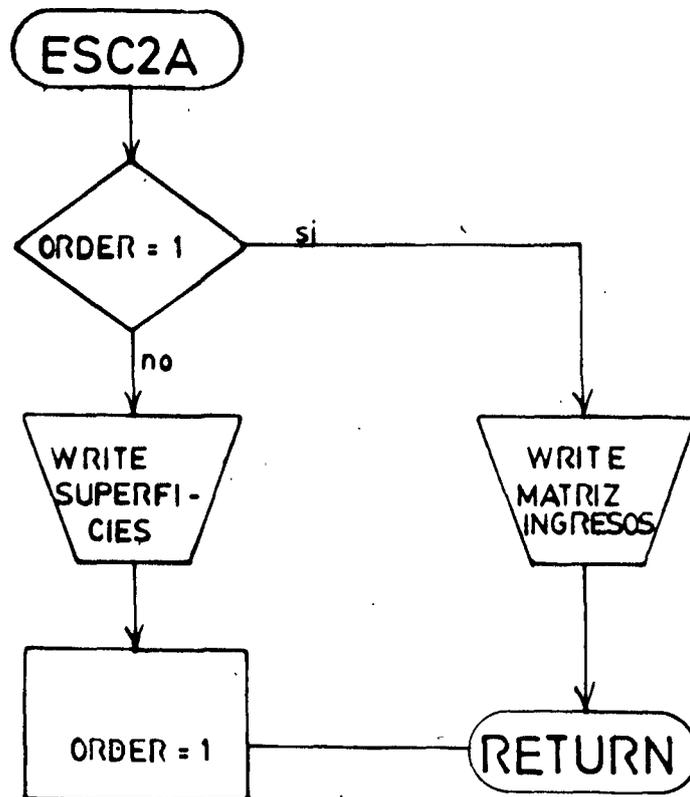


FIGURA II-23. Subrutina Esc2a

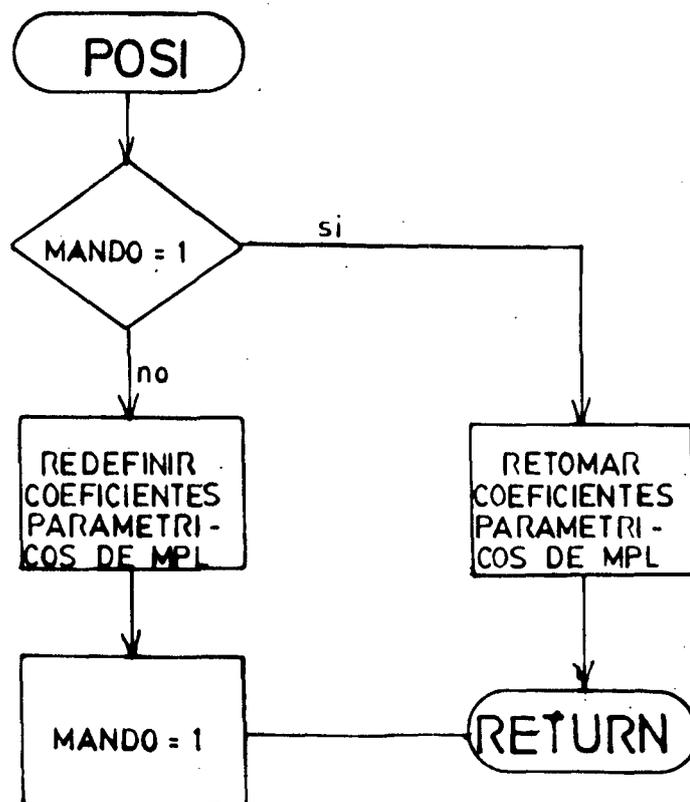


FIGURA II-24. Subrutina Posi

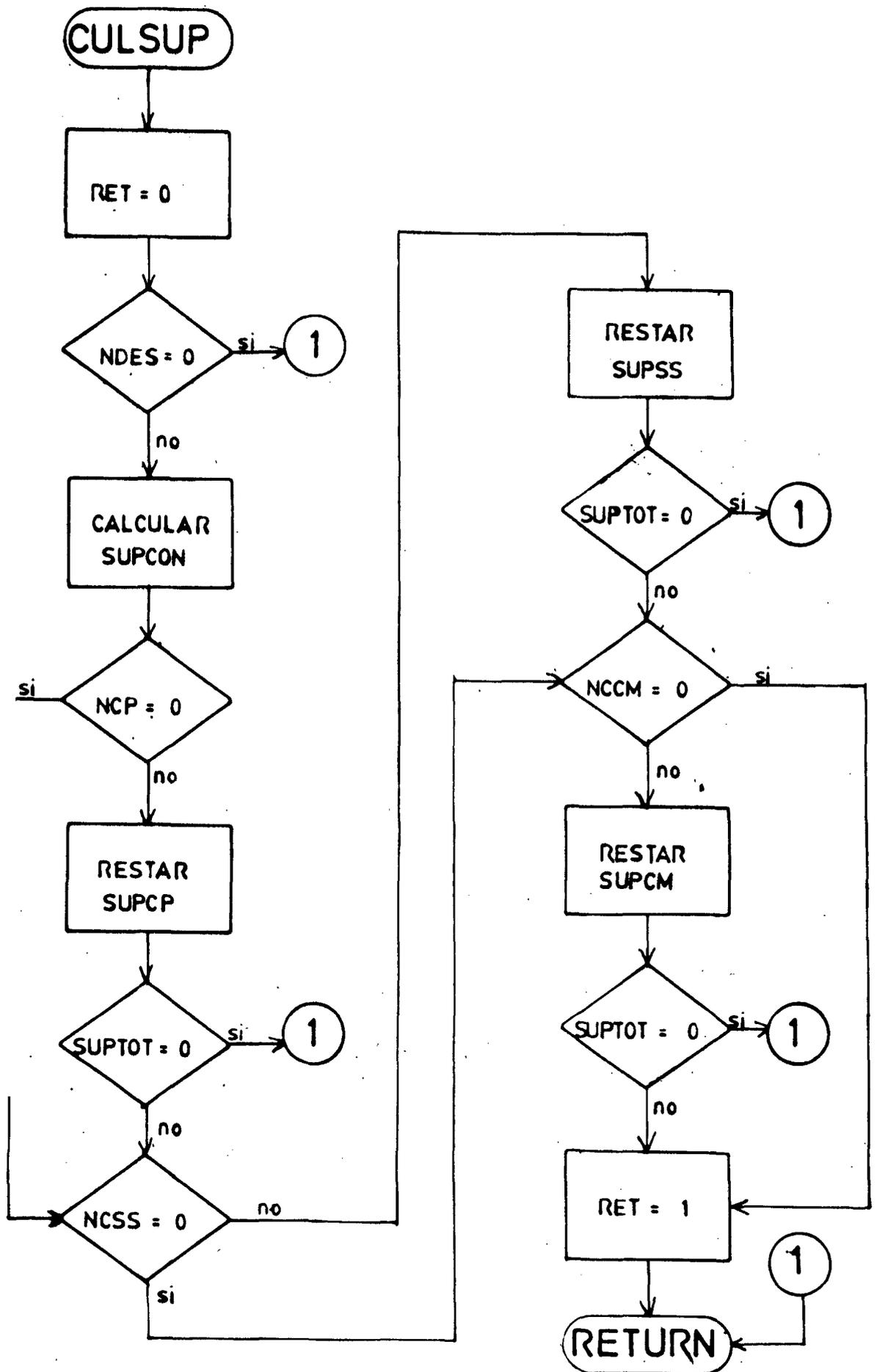
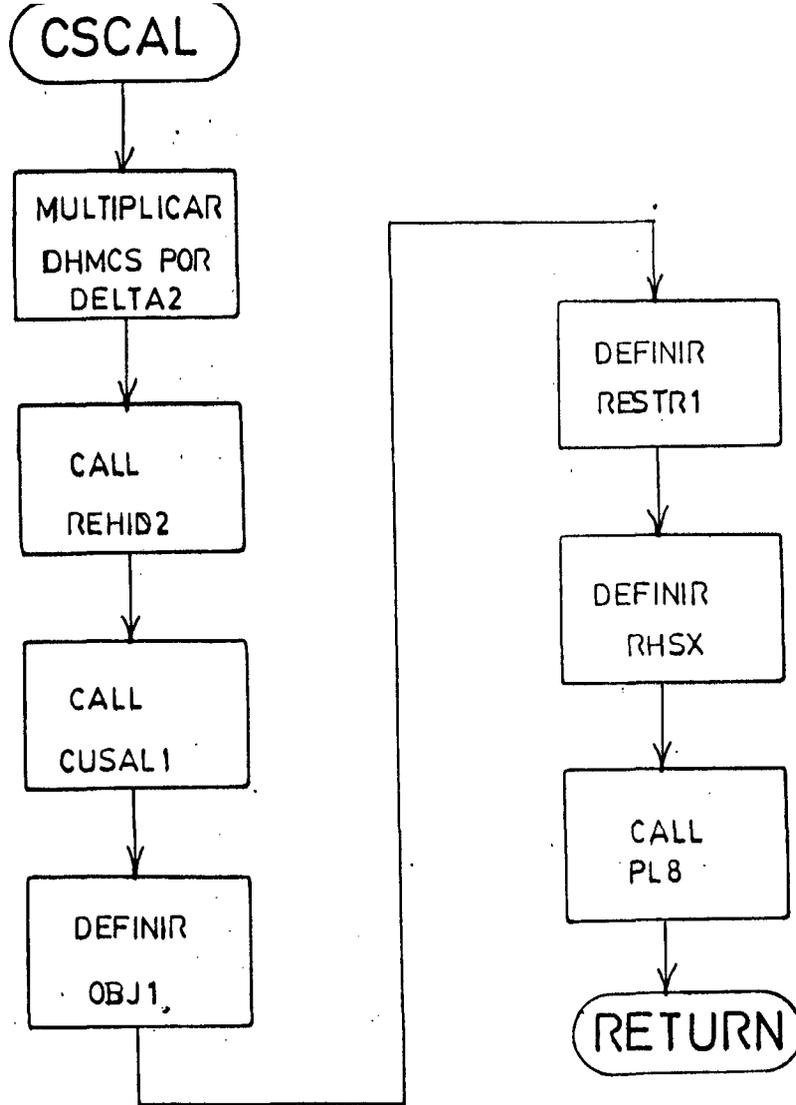
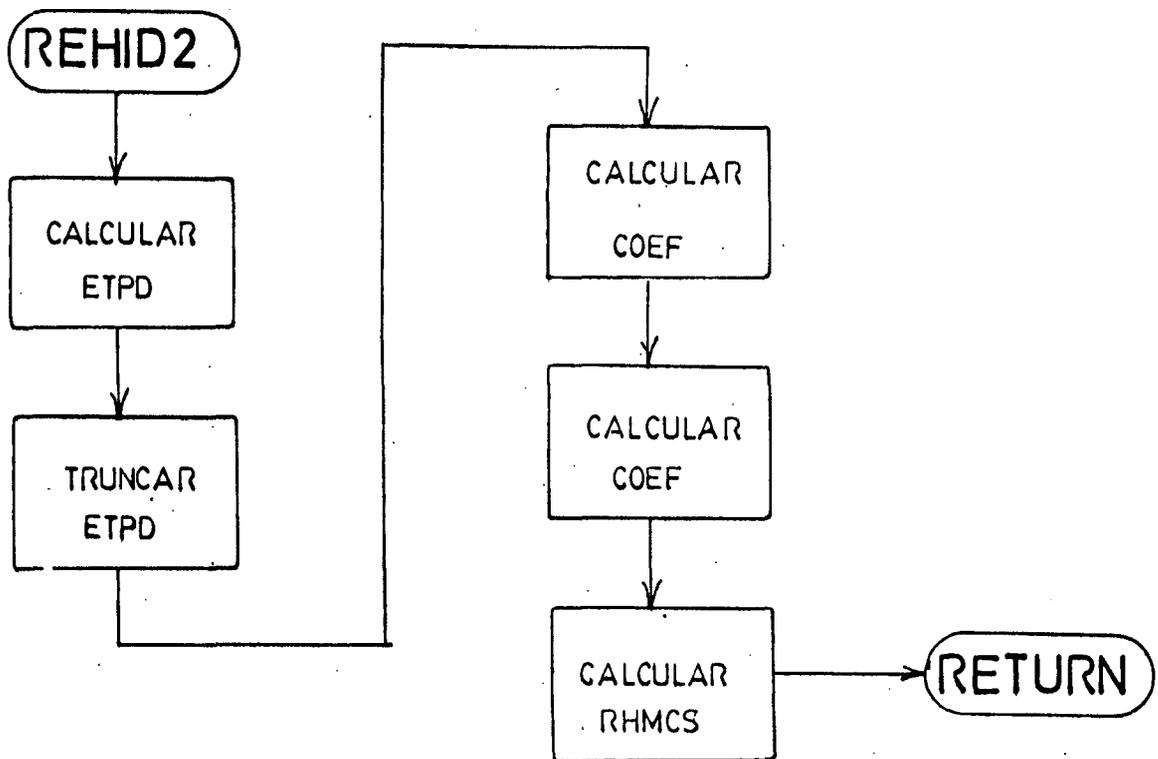
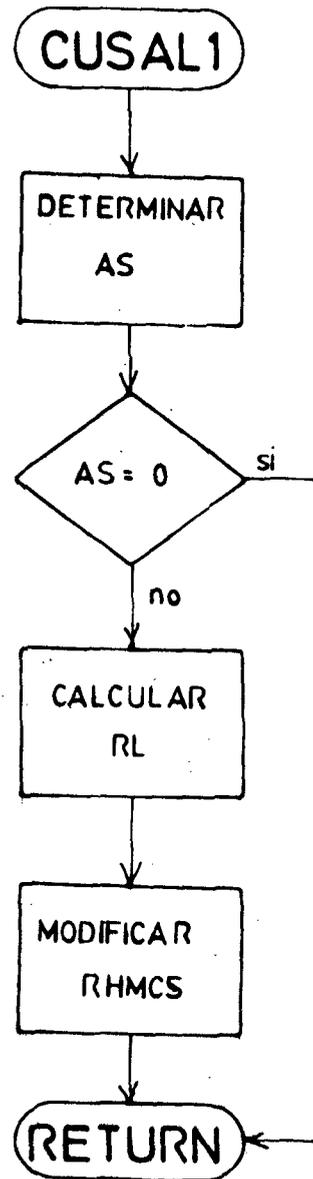


FIGURA II-25. Subrutina Culsup

FIGURA II-26. Subrutina CscalFIGURA II-27. Subrutina Rehid2

FIGURA II-28. Subrutina Cusall

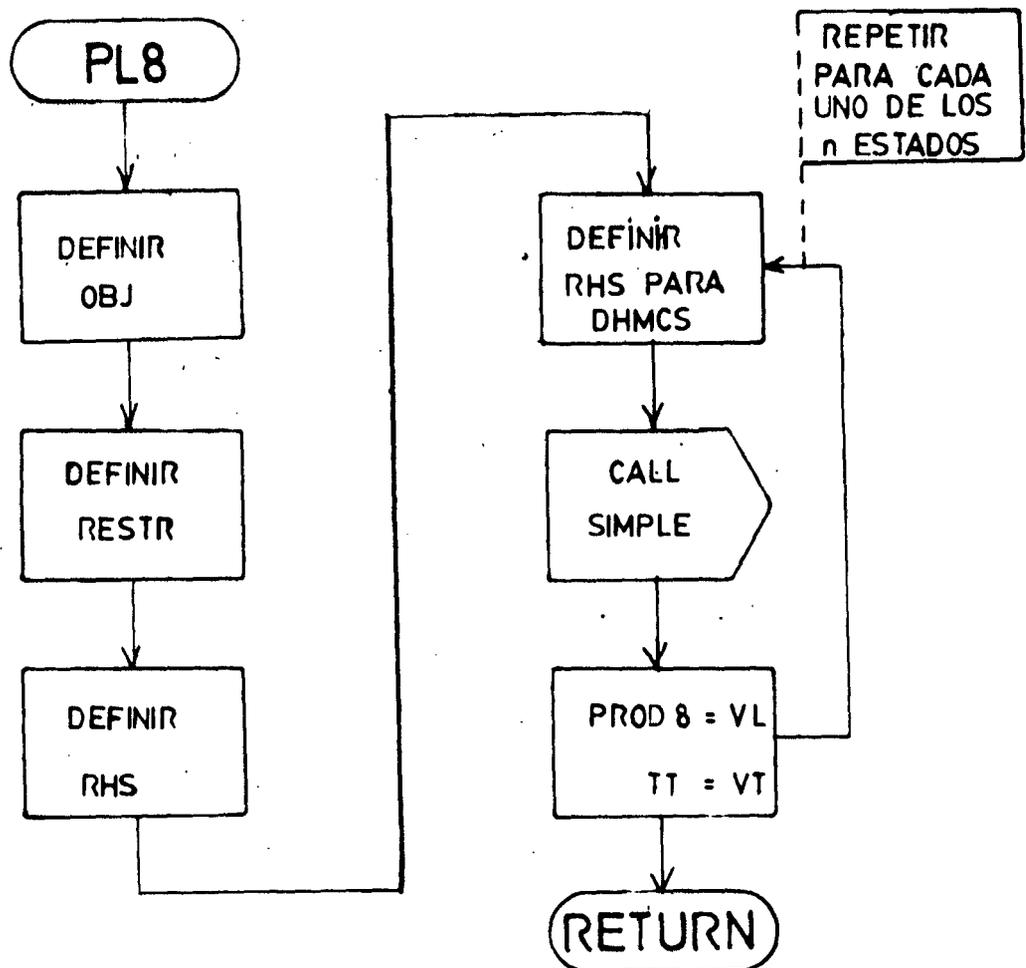


FIGURA II-29. Subrutina P18

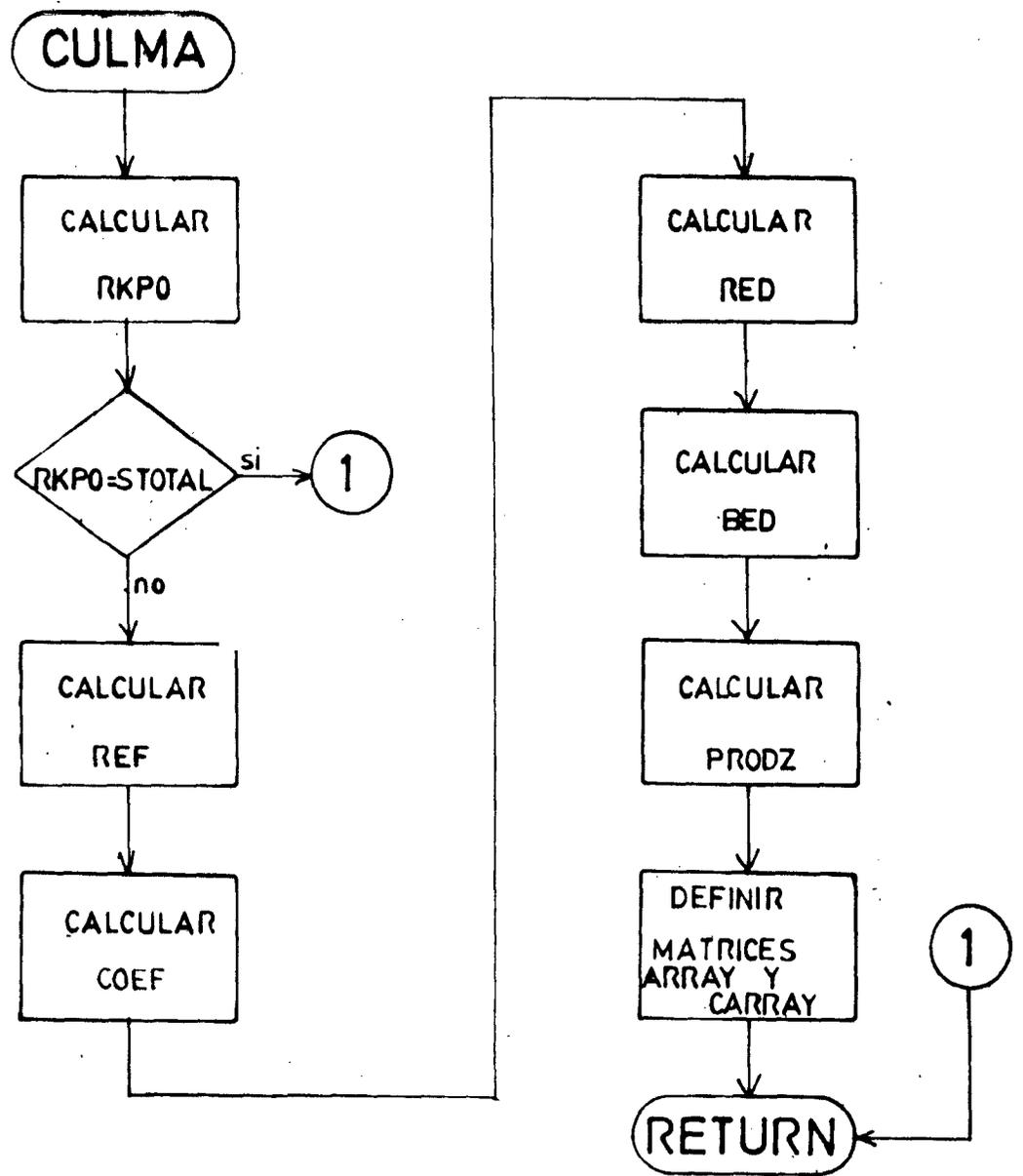
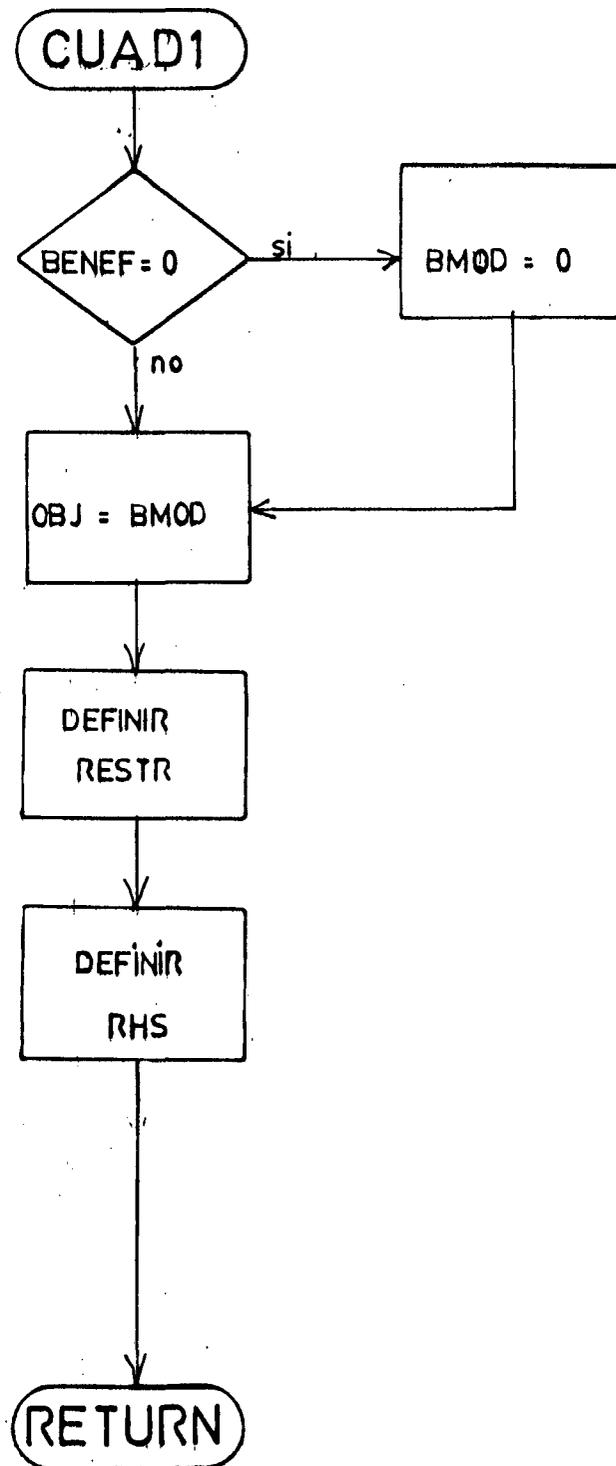


FIGURA II-30. Subrutina Culma

FIGURA II-31. Subrutina Cuad1

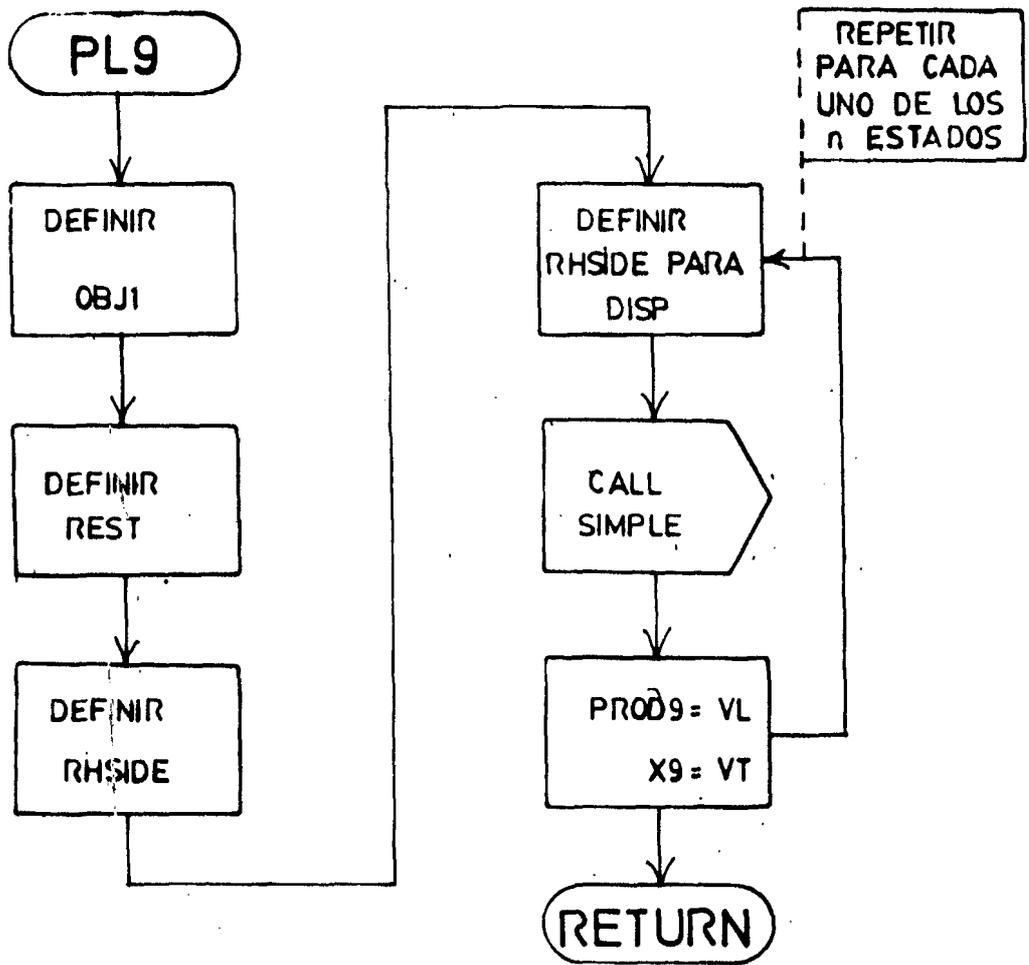
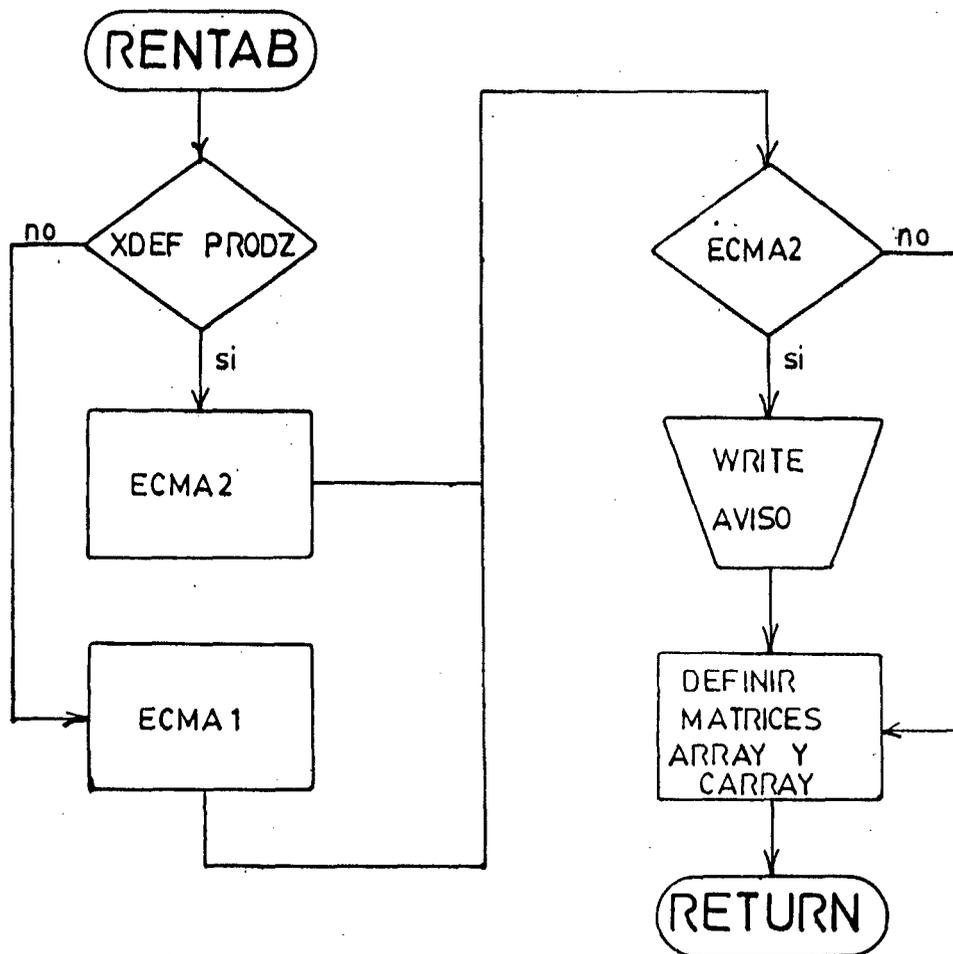
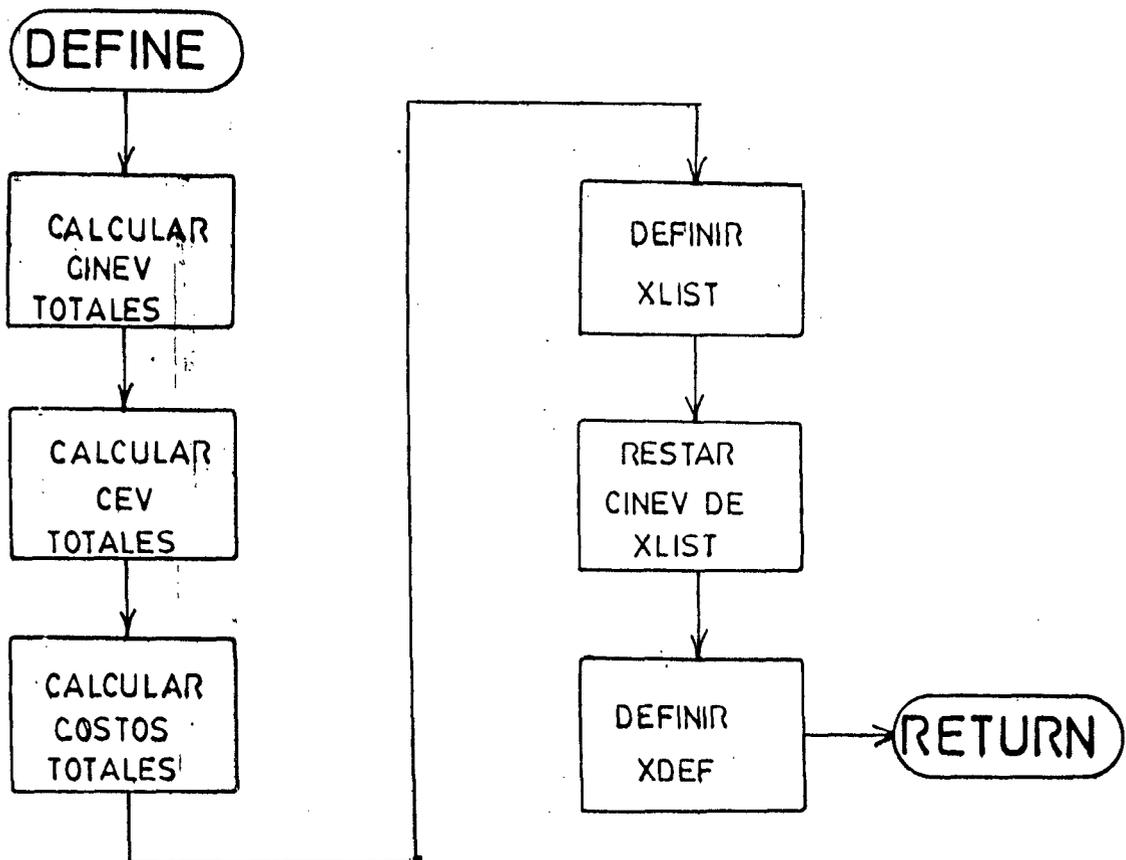


FIGURA II-32. Subrutina F19

FIGURA II-33. Subrutina RentabFIGURA II-34. Subrutina Define

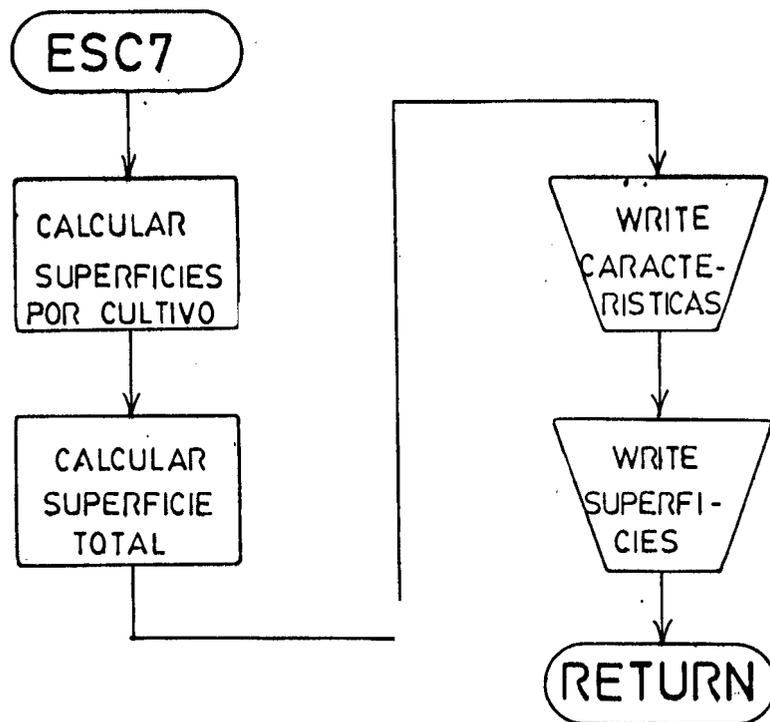


FIGURA II-35. Subrutina Esc7

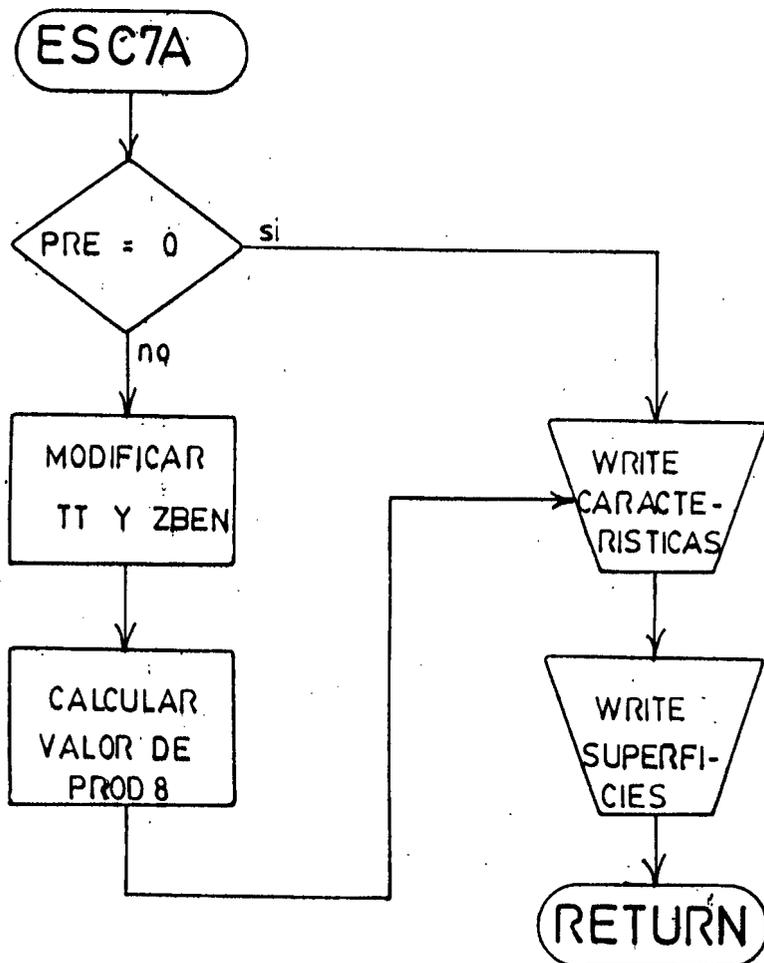


FIGURA II-36. Subrutina Esc7a

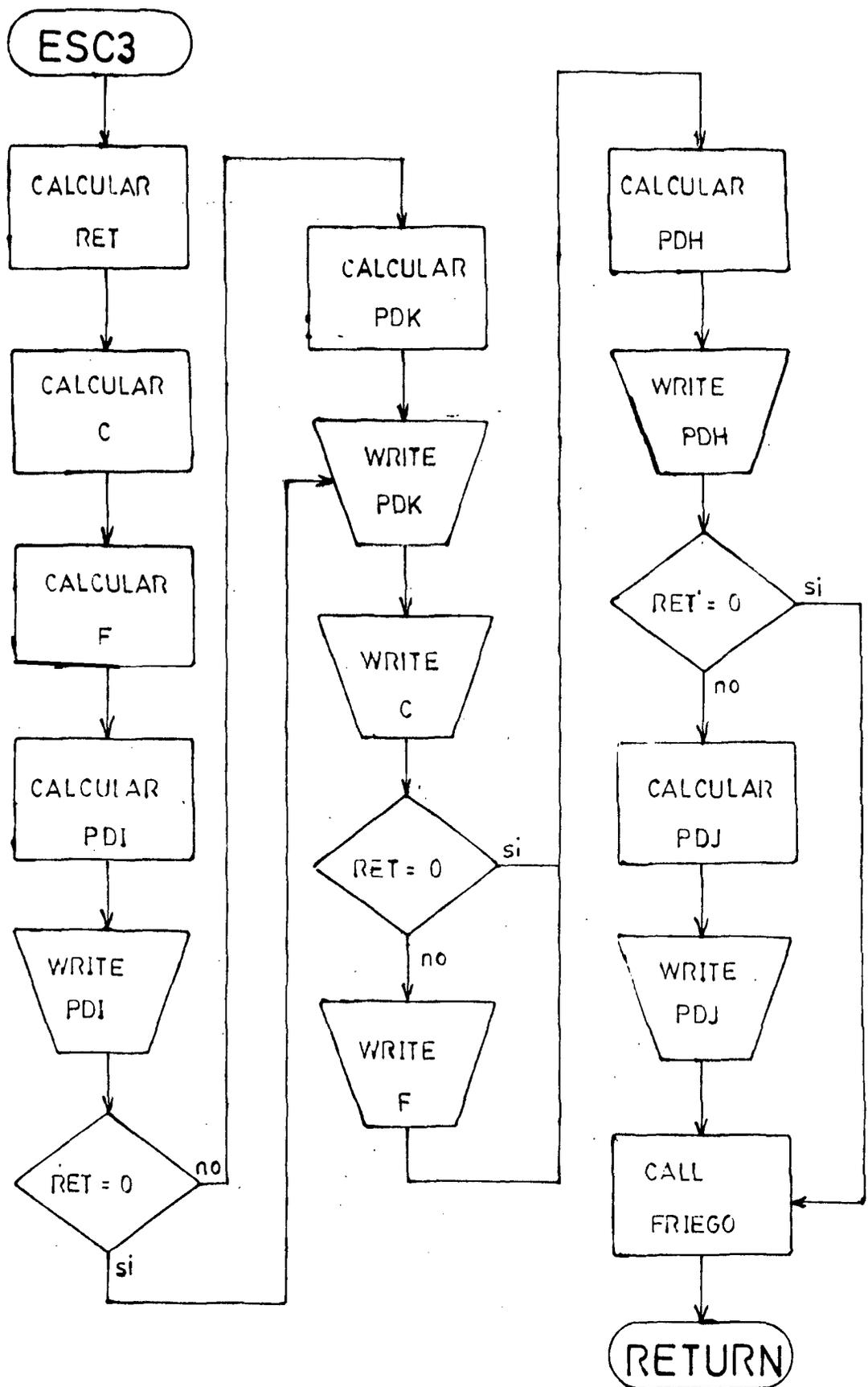
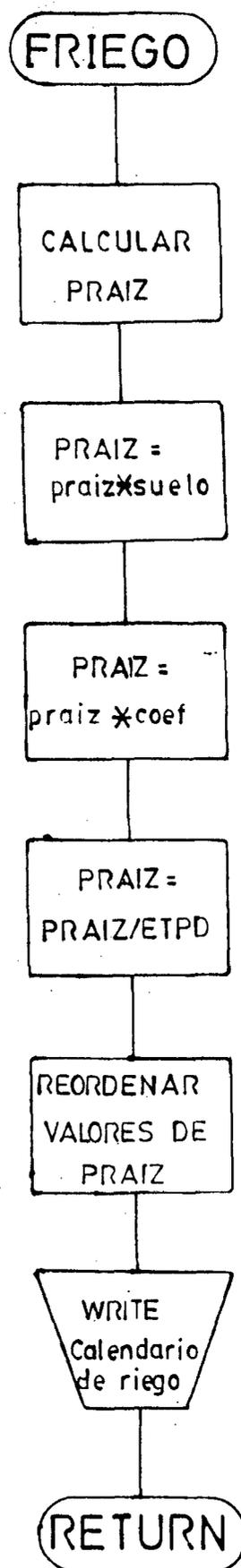


FIGURA II-37. Subrutina Esc3

FIGURA II-38. Subrutina Friege

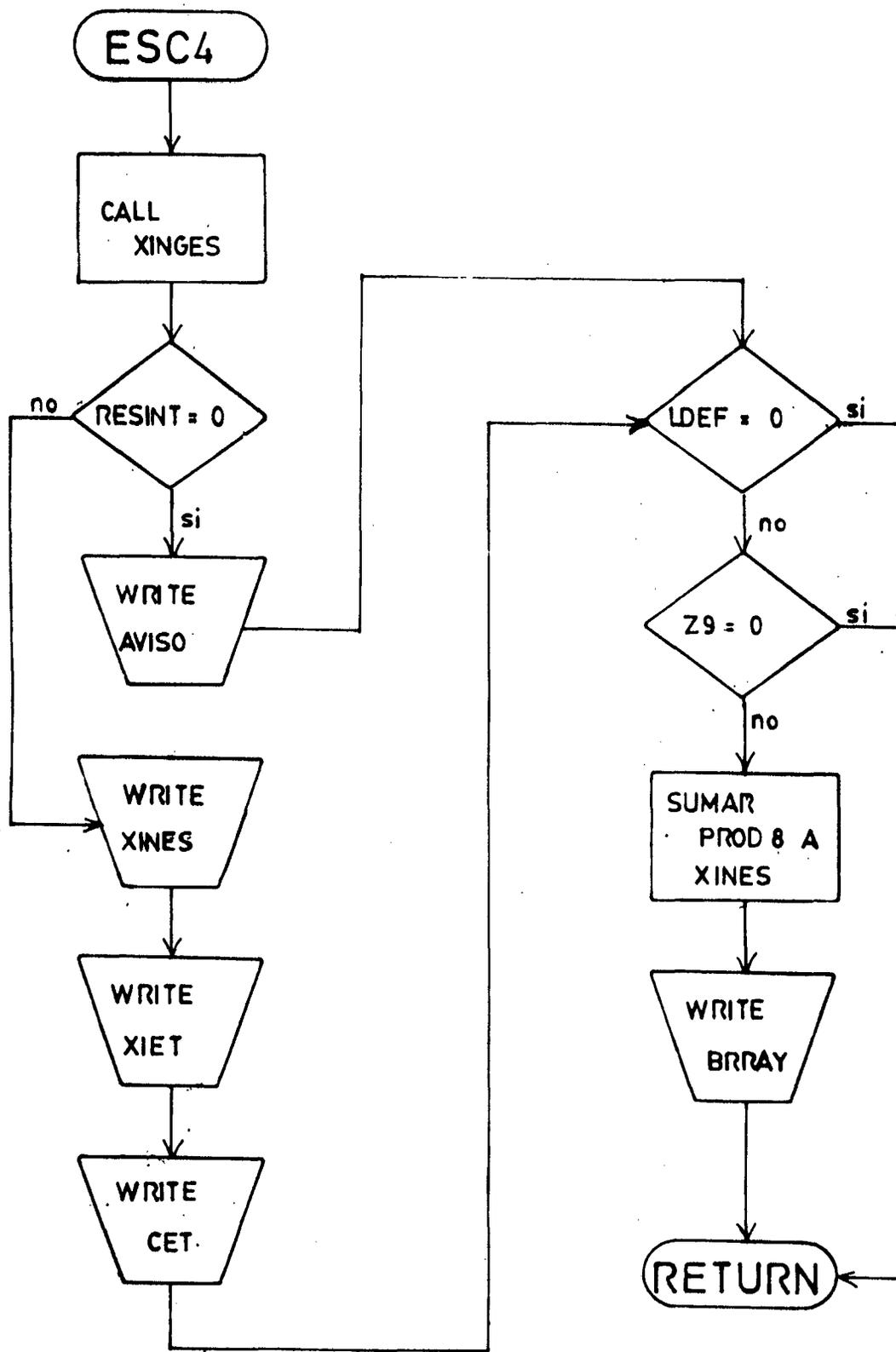
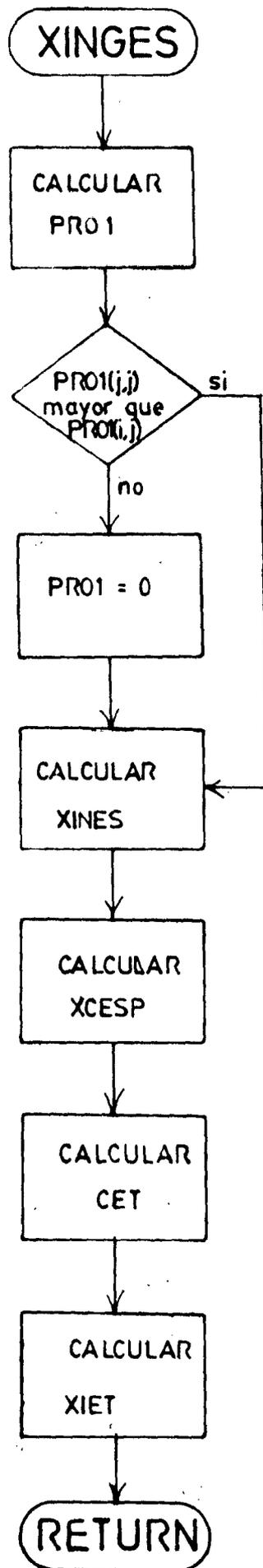
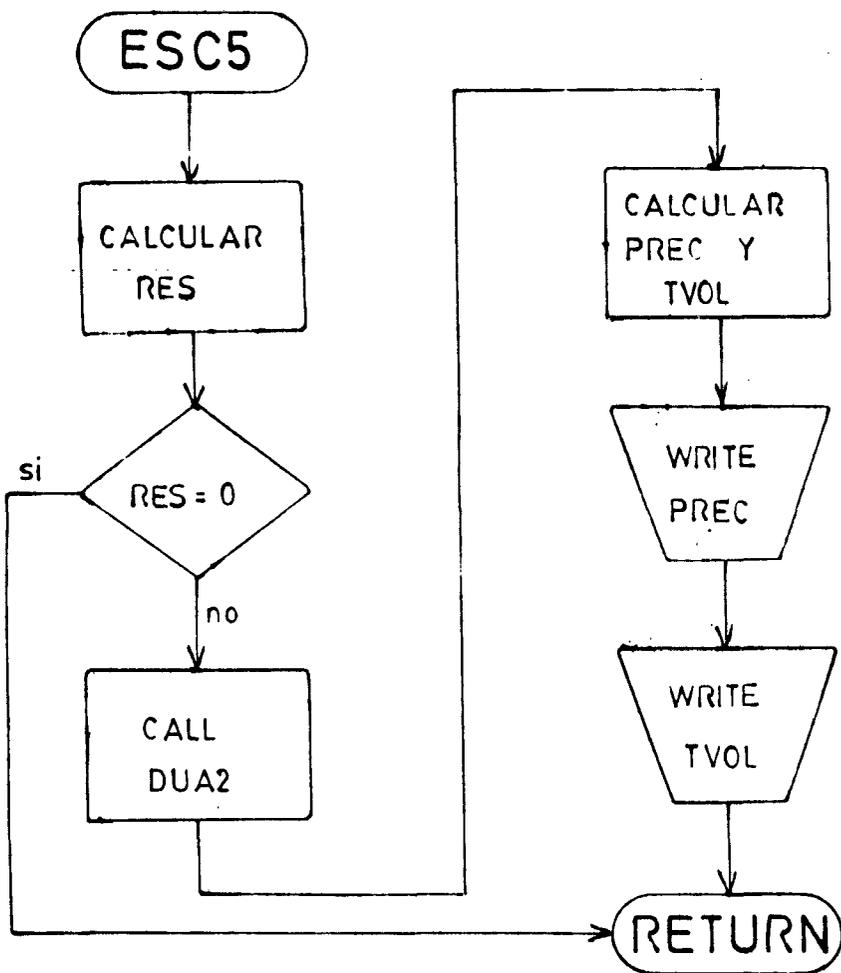
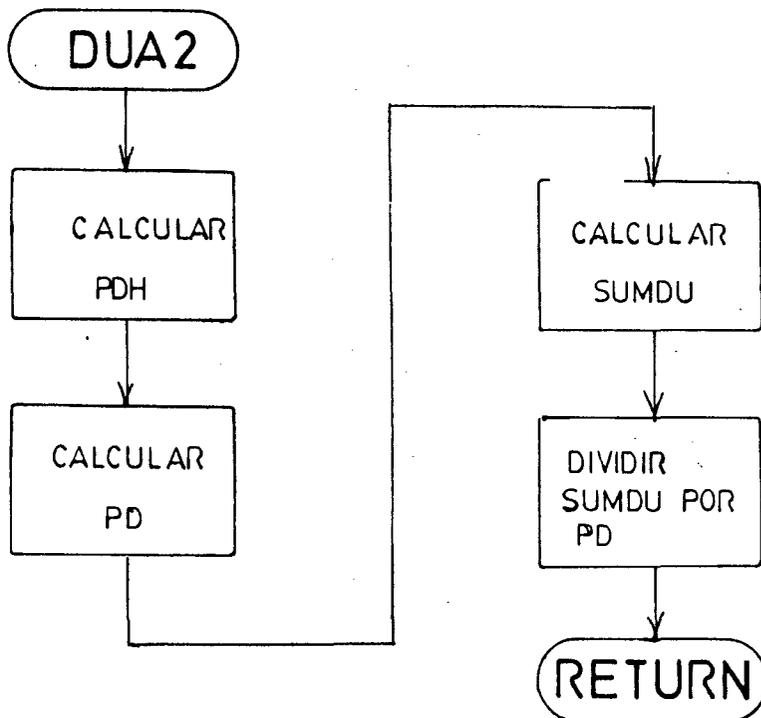


FIGURA II-39. Subrutina Esc4

FIGURA II-40. Subrutina Xinges

FIGURA II-41. Subrutina Esc5FIGURA II-42. Subrutina Dua2

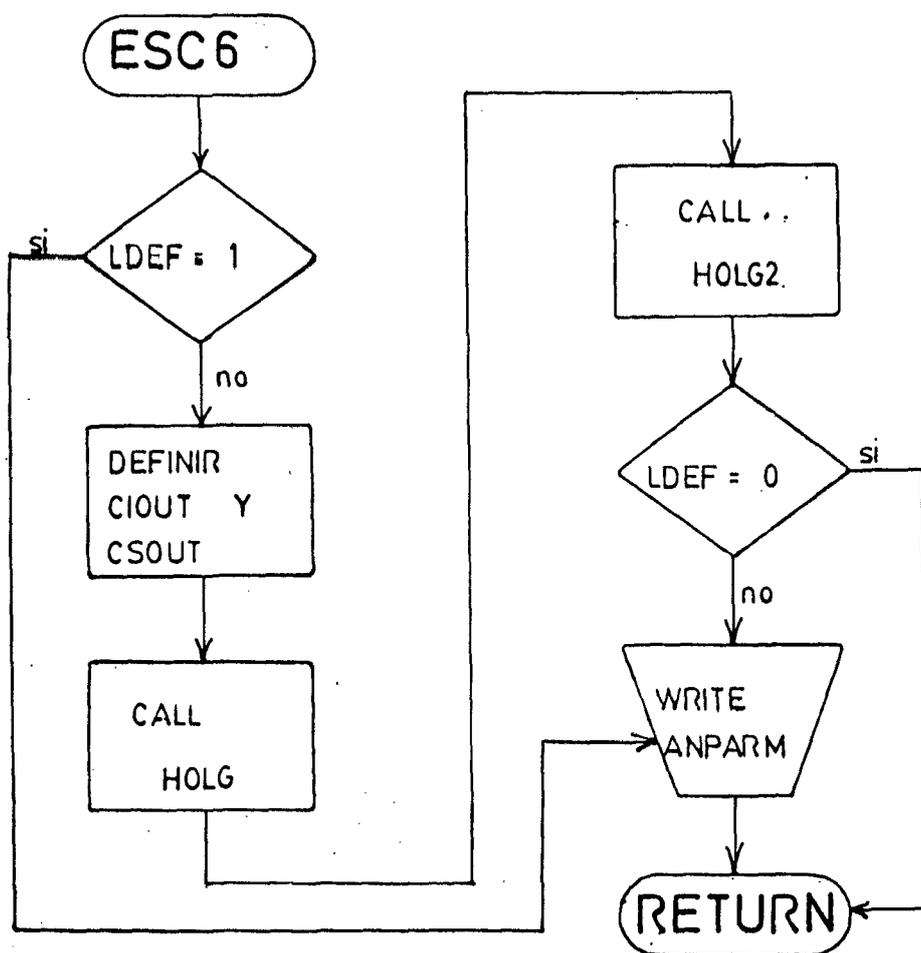


FIGURA II-43. Subrutina Esc6

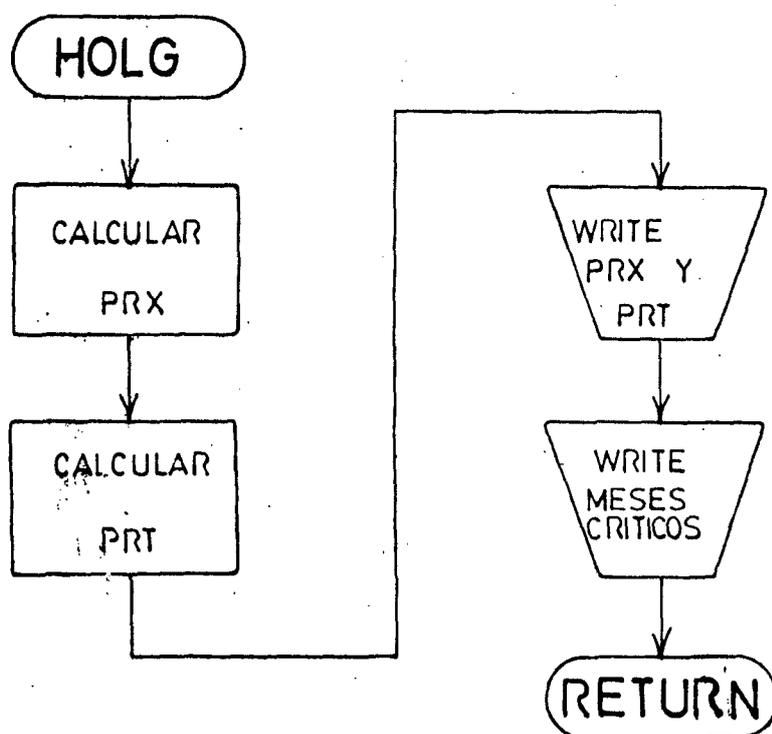


FIGURA II-44. Subrutina Holg

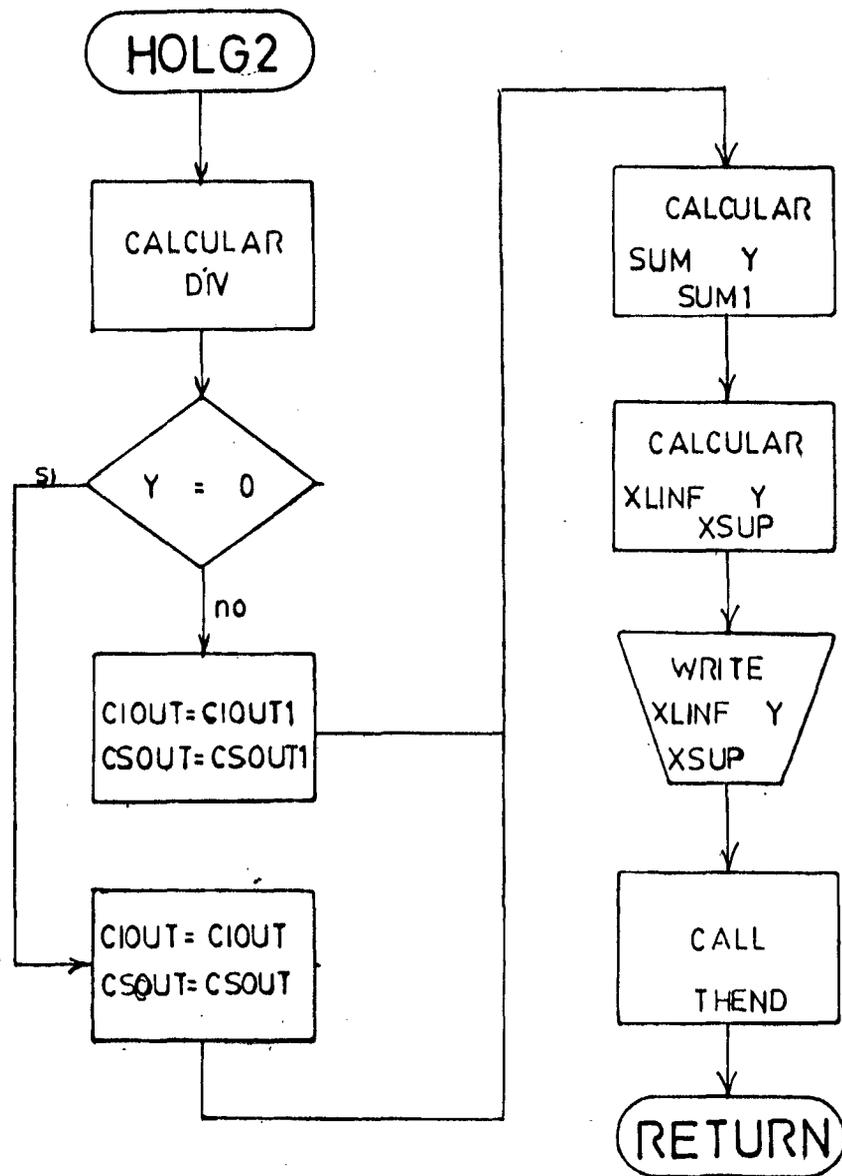


FIGURA II-45. Subrutina Holg2

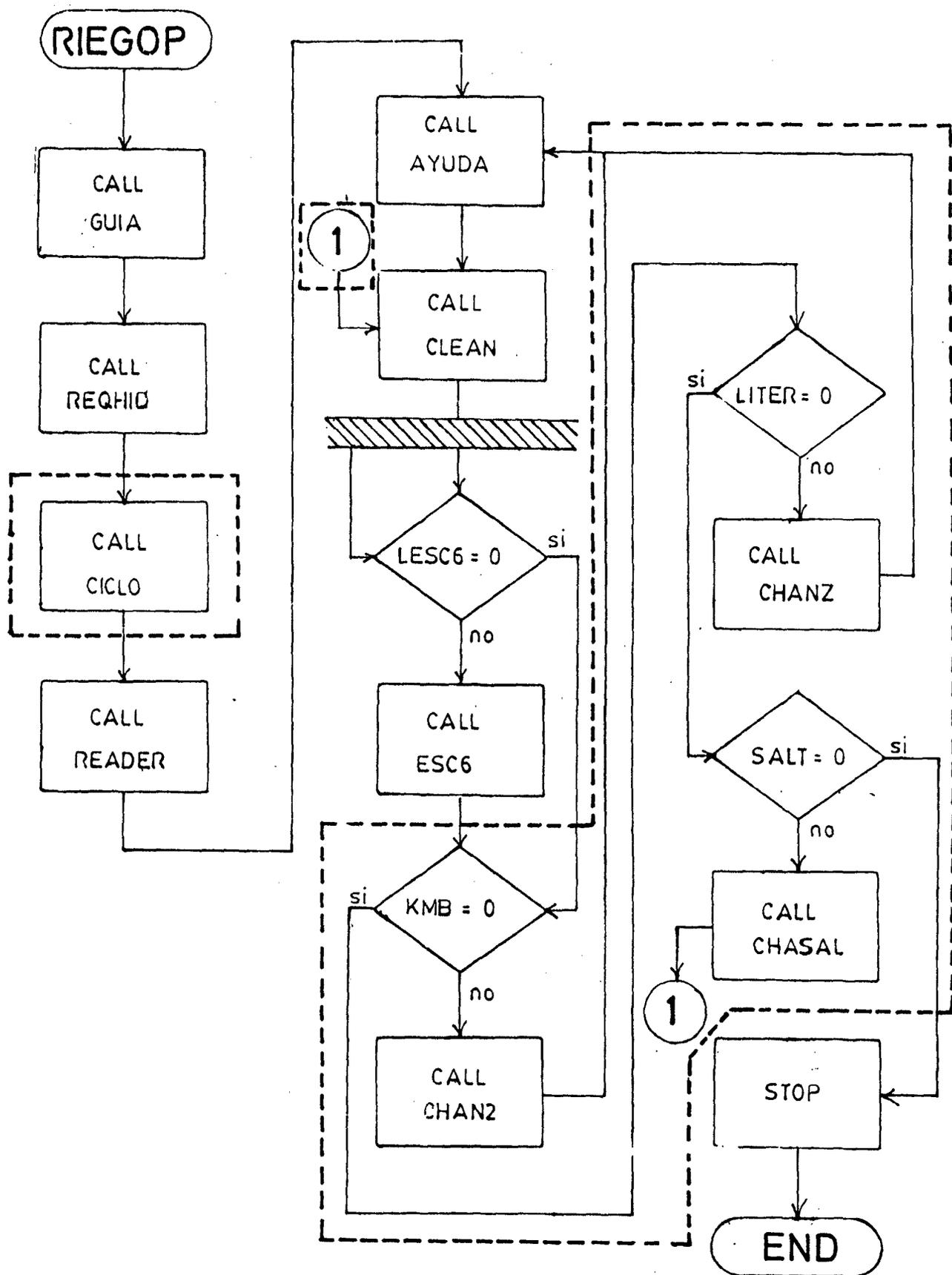


FIGURA II-46. Modificaciones a Riegop

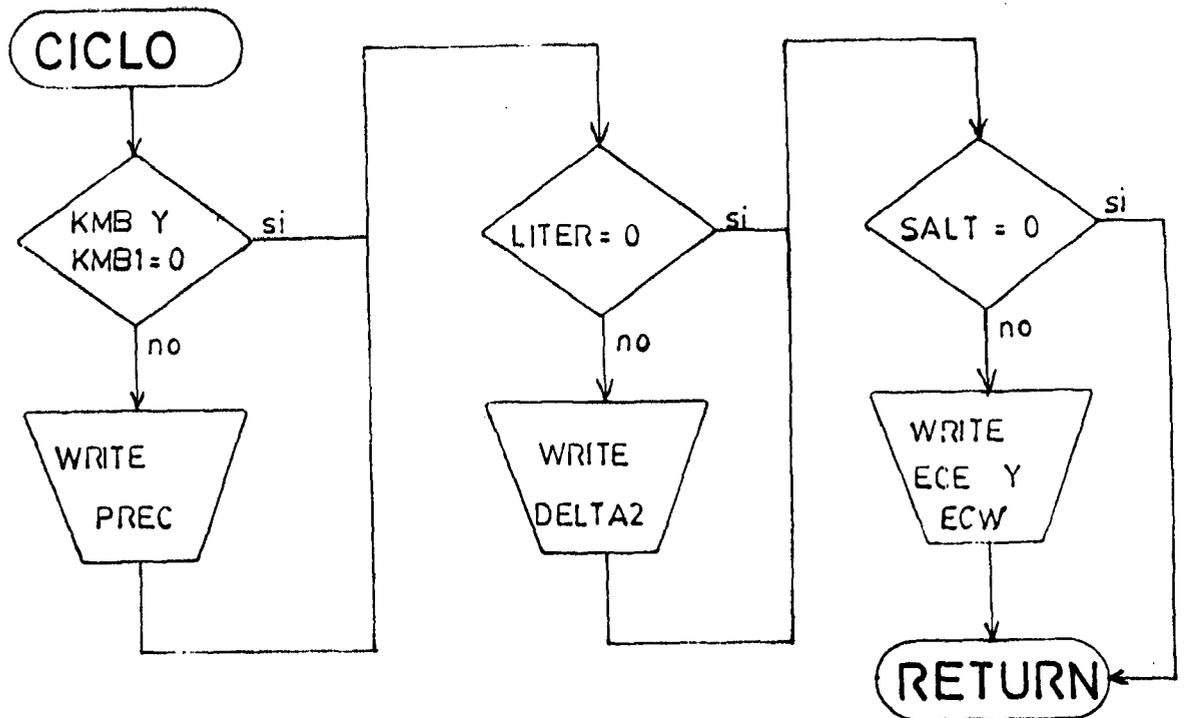


FIGURA II-47. Subrutina Ciclo.

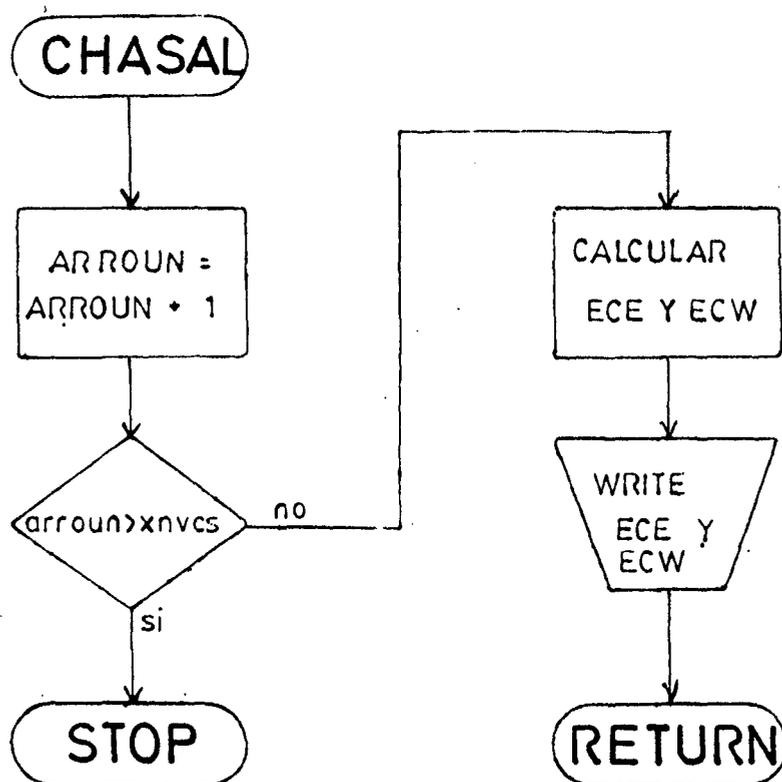
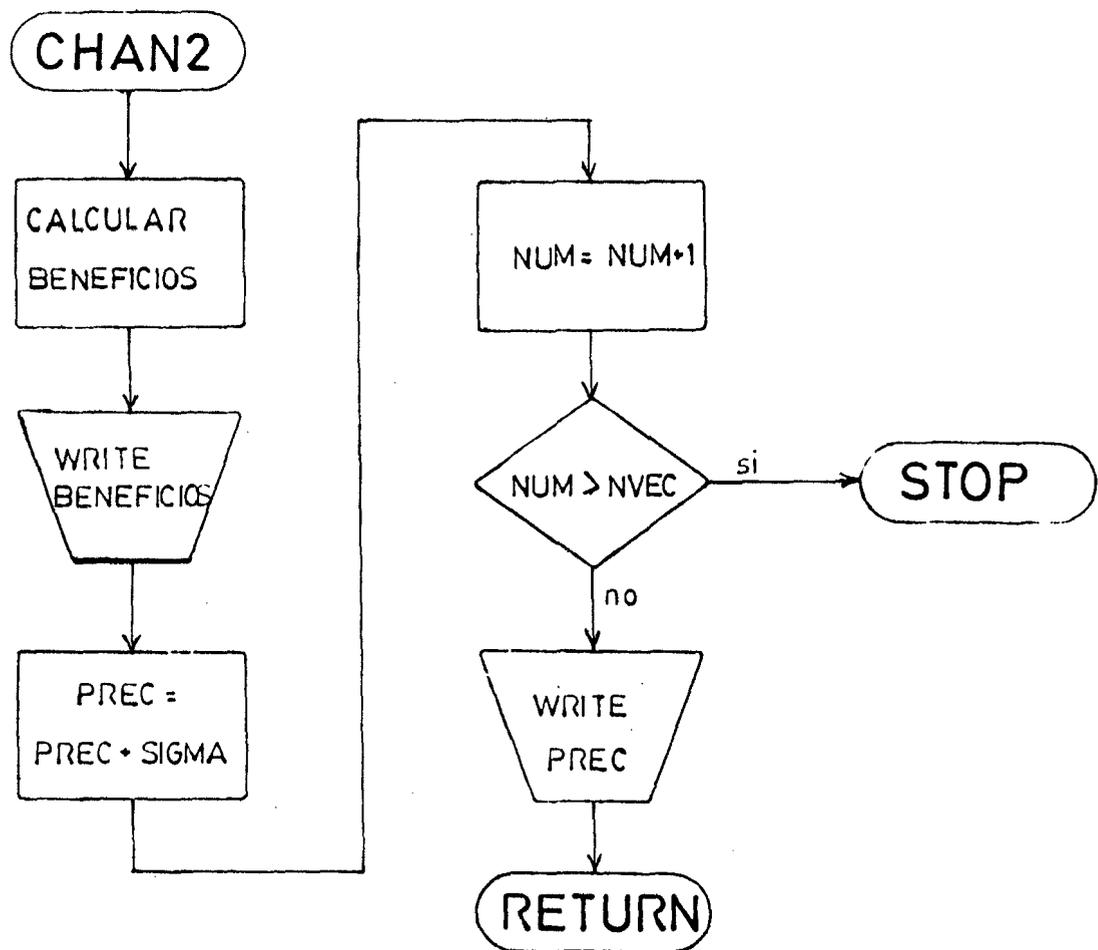
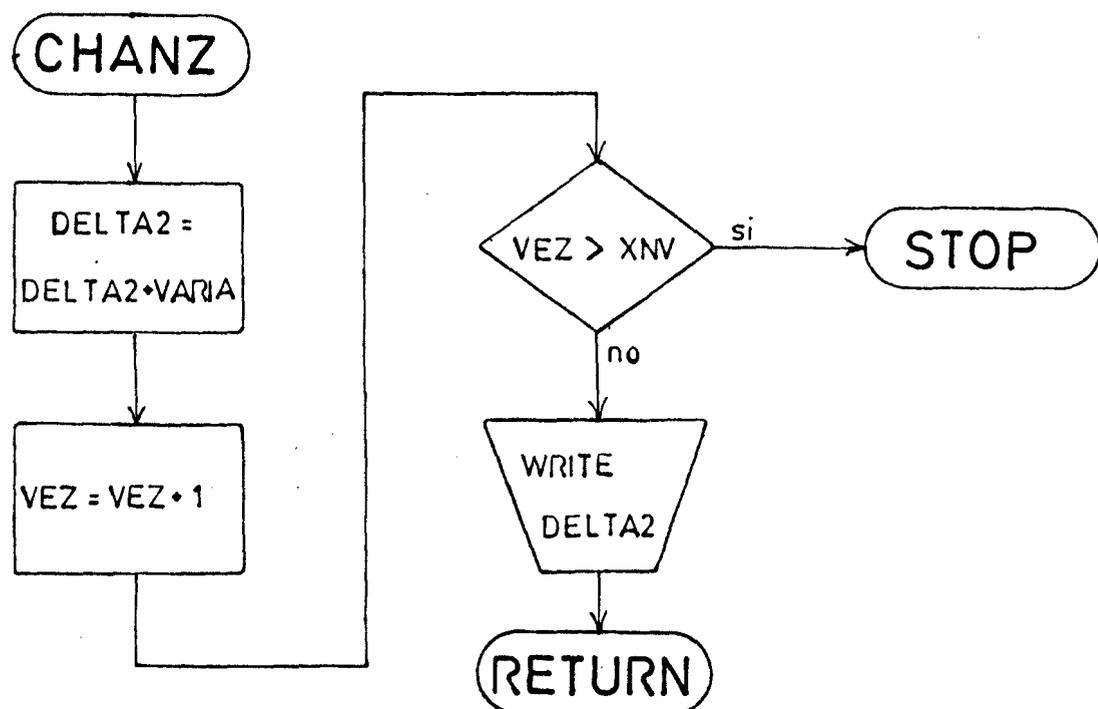


FIGURA II-48. Subrutina Chasal.

FIGURA II-49. Subrutina Chan2FIGURA II-50. Subrutina ChanZ