

ANÁLISIS DEL PRONÓSTICO HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON LA PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA



IMAR COSTA NORTE

ANÁLISIS DEL PRONÓSTICO HÍDRICO
Y SU RELACIÓN CON LA PLANIFICACIÓN
DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA
ESTUDIO REALIZADO EN EL VALLE CHANCAY-LAMBAYEQUE
EN EL NORTE DEL PERÚ

KARIN MARIANNE DE BRUIJN

1999

ENTIDADES ASOCIADAS AL INSTITUTO DE APOYO AL MANEJO DE AGUA DE RIEGO IMAR COSTA NORTE:

ORGANIZACIONES DE USUARIOS

- Junta de Usuarios del Subdistrito de Riego Regulado del Río Chancay-Lambayeque y Comisiones de Regantes de Chongoyape, Ferreñafe, Capote, Chiclayo, Lambayeque, Monsefú, Eten, Reque, Mochumí, Túcume, Sasape, Mórrope y Muy Finca.

ENTIDADES ESTATALES

- Región Nor Oriental del Marañón (RENOM).
- Dirección Regional de Agricultura.
- Universidad Nacional «Pedro Ruiz Gallo», Lambayeque.
- Proyecto Especial Olmos-Tinajones (DEPOLTI).

ENTIDADES PRIVADAS

- Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental Lambayeque.
- Centro de Estudios Sociales «Solidaridad» (CESS).
- Centro de Investigación, Capacitación, Asesoría y Promoción (CICAP).
- Servicio Holandés para la Cooperación al Desarrollo (SNV).
- Instituto de Desarrollo Agrario de Lambayeque (IDAL).

El Instituto de Apoyo al Manejo del Agua de Riego, IMAR Costa Norte, constituido por instituciones públicas, privadas y organizaciones de usuarios involucradas en el manejo y gestión del agua de riego, se fundó el 13 de setiembre de 1991 en la ciudad de Chiclayo. Su propósito fue, desde un inicio, articular los esfuerzos que de manera dispersa venían haciendo una serie de instituciones en el Valle Chancay-Lambayeque en la búsqueda de una solución integral y sustentable a la problemática del recurso agua para uso agrícola.

Su misión es potenciar a las organizaciones e instituciones de la población rural en la gestión del agua, con un enfoque integral de los recursos naturales, a fin de contribuir a su desarrollo productivo y democrático.

IMAR Costa Norte
Jr. Napo N° 379, Urb. Quiñones
Telefax (074) 203488
CHICLAYO

Derechos Reservados
IMAR Costa Norte
1999

Se autoriza la reproducción total o parcial de la presente publicación siempre y cuando se cite la fuente.

RESUMEN EJECUTIVO

El Valle Chancay-Lambayeque está ubicado en el norte del Perú y una de sus principales actividades económicas es la agricultura. Para planificar la campaña agrícola y el manejo del agua en el valle, la Administración Técnica de Distrito de Riego Chancay-Lambayeque (ATDRCH-L) elabora cada año un Plan de Cultivo y Riego (PCR) en el cual se hace un balance entre la disponibilidad y la demanda de agua. Pero el PCR no funciona de manera óptima y la disponibilidad de agua del río no se puede calcular, hecho que trae graves consecuencias a los agricultores. En ese sentido, es imprescindible conocer cómo se elabora el pronóstico de la descarga del río, cuál es su exactitud y cómo se utiliza en la planificación de la campaña agrícola y el manejo del reservorio, aspectos que investigó el presente estudio, el cual además trata de encontrar formas para mejorar el pronóstico hídrico y el PCR. El objetivo del estudio es pues *analizar, evaluar y proponer mejoras en el pronóstico hídrico y su relación con la planificación de la campaña agrícola y el manejo del reservorio.*

Como responsable del PCR, la ATDRCH-L es la encargada de calcular la disponibilidad de agua. Para determinar la cantidad de agua superficial, la Administración Técnica emplea el «pronóstico» de la DGAS, el que en realidad no es tal sino una probabilidad de las descargas del río Chancay con una persistencia de 75% mensual. Una probabilidad no permite conocer específicamente las descargas del año venidero, pero reporta la descarga que con una seguridad de 75% va a estar excedida, razón por la cual no se puede predecir si se presentará un año seco, húmedo o normal.

Hay dos errores en los cálculos de probabilidades:

- No se considera la construcción del túnel Conchano en 1983, que cambió la descarga y su distribución en el año.
- Se suman las probabilidades mensuales de descarga para obtener una probabilidad anual. La suma de las probabilidades mensuales es más baja que la probabilidad anual; es decir, en la actualidad se trabaja con un pronóstico demasiado bajo.

Para corregir estos errores es necesario considerar la información del cambio de las descargas por la construcción de los túneles Chotano y Conchano y usar la probabilidad de 75% de persistencia anual, la que se puede distribuir sobre los diferentes meses al igual que los promedios.

La disponibilidad total de agua está constituida por la descarga de río pronosticada, una parte del volumen almacenado en el reservorio, el agua subterránea y el agua de retorno. En el balance del agua del PCR se consideran las pérdidas del 25% de la demanda total a nivel de la Comisión de Regantes, pero no las pérdidas a nivel del sistema mayor.

No existe confianza en el pronóstico porque éste es demasiado bajo. Al no haber confianza en él no se usa en la planificación real. Tampoco se calcula con exactitud los coeficientes de riego (importantes para estimar la demanda de agua en el PCR), la disponibilidad de agua de subsuelo, de recuperación y del reservorio. Para un buen manejo del agua basado en un PCR adecuado se requieren datos exactos que correspondan a la realidad y probabilidades calculadas acertadamente con una persistencia determinada.

Actualmente, para estimar la disponibilidad de agua del reservorio se emplea el volumen almacenado menos la reserva técnica. Se recomienda considerar un volumen al final de la campaña que sirva para iniciar una nueva campaña. La magnitud de este volumen depende de qué persistencia se

usará para calcular las disponibilidades de agua superficial y cuántas hectáreas de cultivo serán aprobadas.

La decisión acerca de cuándo empezar la campaña de arroz (la cuestión más importante para el manejo del agua), depende del área de arroz que se quiere cultivar y del volumen actual del reservorio. Se ha elaborado dos hojas de cálculo para determinar aproximadamente cuántas hectáreas de cada cultivo se pueden sembrar con una oferta de agua determinada y qué volumen de agua del reservorio se necesita para empezar la campaña agrícola.

Es recomendable usar pronósticos en lugar de probabilidades para calcular la disponibilidad de agua superficial. Para pronosticar las descargas con modelos conceptuales, se necesita conocer la cantidad de lluvia que constituirá la descarga. La lluvia demora apenas unos días para llegar a la Bocatoma Raca Rumi, por ende se puede pronosticar la descarga solamente con unos días de anticipación y no un año antes; esto último es necesario para la planificación de la campaña agrícola.

También sería factible pronosticar la descarga usando las relaciones entre las descargas de diferentes meses y la suma de la descarga de un año. En la cuenca Chancay-Lambayeque estas relaciones no permiten pronosticar la descarga con suficiente exactitud antes de fines de febrero, lo cual no tiene valor para la campaña agrícola porque se presenta a destiempo.

De ahí que sólo es posible trabajar con probabilidades porque no se puede pronosticar la descarga y por eso siempre se hará con una persistencia o margen de riesgo determinado. La decisión del riesgo o la persistencia a utilizar es de carácter político y no técnico.

El modelo CHANLAMB calcula el PCR óptimo para el valle y se basa en información de cultivos, disponibilidad de agua y datos económicos. En realidad éste no se usa porque cada agricultor maneja el agua según sus necesidades y siembra los cultivos que considera mejores para sí mismo y no para el sistema del valle en general. Dicho modelo solamente se puede usar para investigaciones o evaluaciones.

El proyecto de nueva Ley de Aguas se ha propuesto como una alternativa para la gestión del agua. Este proyecto tiene mucha influencia en el manejo del agua en el Valle Chancay-Lambayeque. Lo más significativo es la eliminación de la utilidad del PCR (los derechos de agua ya no estarán ligados al uso y los mismos agricultores decidirán qué cultivo sembrar).

Según la nueva Ley, la disponibilidad y el manejo del agua siguen teniendo importancia y se tienen que tomar decisiones importantes como: ¿cuándo reducir o aumentar las dotaciones de agua si se presenta un año muy seco o muy húmedo? y ¿cuánto se reducirá o aumentará la dotación? Las instituciones responsables del manejo del agua todavía no están listas para esta nueva Ley porque aún no existe suficiente información ni tampoco una estructura administrativa adecuada.

Según el estudio, no es posible pronosticar la descarga sino sólo planificar la campaña con probabilidades con una persistencia determinada. Para que las probabilidades de la descarga sean más acertadas, se recomienda utilizar probabilidades anuales y no mensuales y considerar los cambios que produjo la construcción de los túneles en el cálculo. La ATDRCH-L y la Junta de Usuarios del valle deben decidir junto con los usuarios qué persistencia se utilizará para la planificación.

También se recomienda mejorar la elaboración del PCR mediante el uso de datos reales (coeficientes de riego, disponibilidades de agua de subsuelo y de recuperación, etcétera), la evaluación constante de los resultados de la campaña agrícola y la preparación de un procedimiento que proporcione más claridad a los agricultores sobre la elaboración del PCR.

RESUMEN EJECUTIVO	7
PRESENTACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	13
Objetivo del estudio	14
Procedimientos	14
El Instituto de Apoyo al Manejo del Agua de Riego (IMAR-Costa Norte)	14
Descripción global de la región de estudio	16
I INSTITUCIONES IMPORTANTES PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA	19
II DISPONIBILIDAD DE AGUA	21
1. Las fuentes de agua disponible	21
2. Probabilidades de descarga de los ríos	22
Cálculos de la DGAS y la ATDRCH-L	23
3. Evaluación	25
A. Cálculos para determinar las probabilidades de las descargas	25
B. Disponibilidad de las otras fuentes de agua	27
C. Consecuencias de usar probabilidades para la planificación de la campaña agrícola	27
III USO DEL PRONÓSTICO EN RELACIÓN CON LA CAMPAÑA AGRÍCOLA	28
1. Desarrollo del PCR e inicio de la campaña agrícola	28
2. Evaluación del PCR	30
IV MODELOS HIDROLÓGICOS Y SU USO EN LA PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA	33
1. Modelos hidrológicos en general	34
A. El sistema hidrológico	34
B. Modelos sin procesos hidrológicos	37
2. Utilidad de los modelos hidrológicos para hacer pronósticos o ayudar a la elaboración del PCR	38

A. Modelos conceptuales	38
B. Modelos de caja negra basados en las relaciones entre descargas de diferentes meses	39
C. El modelo CHANLAMB	40
3. Conclusiones	40
V MANEJO DEL RESERVORIO	42
1. Modelo para calcular diferentes opciones en el manejo del reservorio	42
2. Manejo del reservorio	44
A. Evaluación del modelo considerando los datos de 1995-1996 y 1996-1997	45
B. Alternativas para el manejo del reservorio	48
3. Inicio de la campaña agrícola	48
VI EL PROYECTO DE NUEVA LEY DE AGUAS Y SUS EFECTOS EN LA PLANIFICACIÓN	53
1. Influencia de la nueva Ley de Aguas en la planificación	56
2. Cantidad de agua disponible por hectárea	56
VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
SIGLAS Y DEFINICIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63
Anexo 1: Evaluación de los pronósticos hídricos	65
Anexo 2: Agua de recuperación	66
Anexo 3: Método de la DGAS para calcular las probabilidades	67
Anexo 4: Método para calcular las probabilidades con base en los datos del período 1927-1997	71
Anexo 5: Las diferentes probabilidades	72
Anexo 6: Las campañas 1995-1996 y 1996-1997	74
Anexo 7: Áreas aprobadas y solicitadas en las campañas 1995-1996 y 1996-1997	77
Anexo 8: Coeficientes de riego (antiguos, oficiales y nuevos)	81
Anexo 9: Modelar los procesos hidrológicos	83
Anexo 10: Pronosticar y evaluar con las correlaciones entre las descargas y la regresión lineal	86
Anexo 11: El tiempo de concentración	94
Anexo 12: Área y coeficientes de otros cultivos (modelo del Capítulo V)	95
Anexo 13: Disponibilidad de agua	96

El 23 de junio llegué a Chiclayo, ciudad ubicada en el norte del Perú, para realizar prácticas y una tesis para el IMAR-Costa Norte. Mi idea inicial fue elaborar un modelo en el programa IDRISI que permitiera pronosticar la descarga del río Chancay basado en los datos del volumen de lluvia que cae en la cuenca. Esto parecía irrealizable porque la precipitación es transportada principalmente como descarga rápida y llega en sólo unos días a la Bocatoma Raca Rumi. IMAR deseaba un modelo para predecir la descarga con un año de anticipación, lo cual es imposible. Pronosticar a corto plazo, es decir, unos días antes, también es poco factible porque los datos disponibles son demasiado inexactos para anticipar descargas diarias. Por otro lado, pronosticar las descargas mensuales sería posible pero, por ejemplo, pronosticar la descarga de enero a fines de enero no tendría ningún sentido.

Por eso decidí cambiar mis objetivos y llevar a cabo solamente prácticas, de común acuerdo con los ingenieros Luis Chinchay Alza, Director Ejecutivo del IMAR y Arturo Solórzano González, Coordinador del Proyecto APOMAR-IMAR. Las nuevas metas que me propuse fueron: analizar el método actual de elaboración de los pronósticos, determinar su exactitud, proponer mejoras y ver la manera de que sea usado más eficientemente en la elaboración del Plan de Cultivo y Riego (PCR) y el manejo del agua.

Para llevar a cabo el estudio tuve que visitar diversas instituciones, entre ellas la Junta de Usuarios del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque (JUDRCH-L), ETECOM S.A., DEPOLTI, la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, IPROGA, INRENA, DGAS y en muchas oportunidades la Administración Técnica del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque (ATDRCH-L), al punto que el vigilante de esa entidad ya conocía de memoria mi complicado apellido. También visité dos miniproyectos en la sierra, el sistema mayor de riego y la zona rural de los Subsectores Lambayeque y Sasape.

Muchas personas me brindaron su apoyo durante la ejecución de esta investigación. Es menester agradecer a los ingenieros Wildor Olano Fernández (ETECOM S.A.), Juan Hernández Alcántara (DEPOLTI), Manuel Rivas Ramírez (JUDRCH-L), Marco Inoquio Palacios (JUDRCH-L), Manuel Tapia Muñoz (DGAS), Víctor Leandro Silva (DGAS), Hugo Delgado Maggia (IPROGA), Alex Guimac Huamán (Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo), Vicente Panta Samillán (Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo), Erica García Ubillús (ATDRCH-L), Ligia Villanueva Pastor y a la secretaria Angélica Burga Caballero (ATDRCH-L).

También quiero agradecer en forma muy especial a los ingenieros Carlos Alvites Alvites (Administrador Técnico del DRCH-L), Emelda Díaz Pizarro (IMAR), Arturo Solórzano González (IMAR), a la licenciada Lourdes Maraví Seminario (IMAR) y al ingeniero Ysbrand Galama (IMAR) por su valiosa información, consejos y seguimiento al presente estudio.

El personal de IMAR no sólo me ha ayudado en el trabajo, sino también me ha brindado su amistad. Los extrañaré cuando esté en Holanda.

En mi país el estudio es particularmente técnico y aquí me ha sido difícil explicar mis ideas ante quienes conocen mucho de otros temas mas no de hidrología, obtener información y entender lo que sucede y por qué. El agua es muy importante para la vida de los pobladores del valle y en el caso concreto del Valle Chancay-Lambayeque, el manejo del agua es mucho más relevante que los estudios técnicos.

Finalmente, quiero manifestar que para mí fue un gran placer trabajar y vivir estos siete meses en el Perú y que he aprendido mucho, no sólo en el aspecto profesional sino también personal sobre la idiosincrasia de la sociedad peruana.

Ojalá pueda regresar muy pronto y reencontrarme con el paisaje de Perú, su gente y mis amigos de IMAR.

KARIN MARIANNE DE BRUIJN

Estudiante de Hidrología de la

Universidad Agrícola de Wageningen (Holanda)

El Valle Chancay-Lambayeque está ubicado en el norte del Perú y una de sus principales actividades económicas es la agricultura. El valle se encuentra en una zona árida y la agricultura depende del agua de riego que aporta la cuenca del Chancay y las cuencas de los ríos Chotano y Conchano regulada a través del reservorio Tinajones. En gran medida, la producción y consecuentemente la situación socioeconómica de casi veinte mil agricultores en el valle está supeditada a estos aportes.

Para planificar la campaña agrícola y el manejo del agua en el valle, la Administración Técnica del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque (ATDRCH-L) elabora cada año un Plan de Cultivo y Riego (PCR), que calcula un balance entre la disponibilidad de agua y su demanda. El PCR especifica las hectáreas aprobadas por cultivo para cada agricultor. Cada hectárea aprobada en el PCR le otorga al regante el derecho a la cantidad de agua que corresponde a su módulo del cultivo.

La disponibilidad de agua es el factor determinante en la elaboración del PCR. Para estimar dicha disponibilidad se utilizan los pronósticos de descarga del río Chancay reportados por la Dirección General de Aguas y Suelos (DGAS), y con base en ellos se aprueba una cantidad de hectáreas determinada.

En los últimos dos años se han perdido numerosas cosechas en el valle y muchos agricultores se encuentran fuertemente endeudados. Algunos de ellos atribuyeron estas pérdidas a un mal manejo del agua y a una inadecuada planificación de la campaña agrícola, lo que motivó denuncias y hasta acusaciones infundadas.

Al evaluarse el pronóstico hídrico de 1992 resultó que diez de los once pronósticos anuales sobre disponibilidad de agua estaban errados (Anexo 1). Con un mal pronóstico no es posible elaborar un PCR acertado, pues la disponibilidad de agua es la base del mismo. Si el PCR no está bien elaborado, el manejo del agua será inadecuado, lo que puede significar pérdidas de millones de soles.

Es importante que los agricultores conozcan cómo se elabora el pronóstico hídrico, cuán exacto es y cómo se utiliza en la planificación de la campaña agrícola y el manejo del reservorio en tanto ellos son los principales interesados y afectados. La presente investigación apunta a eso, además de proponer mejoras en la elaboración del pronóstico, el PCR y el manejo del agua de riego.

OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del estudio es analizar, evaluar y proponer mejoras en la elaboración del pronóstico hídrico y su relación con la planificación de la campaña y el manejo del reservorio.

PROCEDIMIENTOS

Para alcanzar este objetivo se ha seguido los siguientes pasos:

1. Conocer qué instituciones participan en la elaboración del pronóstico hídrico y el PCR y qué funciones desempeñan en esta actividad. Así se define cuáles son las fuentes de información y se especifica la información que proporciona cada una.
2. Estudiar los procedimientos que se utilizan para calcular el pronóstico en la actualidad: ¿qué datos se emplean?, ¿cómo se procesan?, ¿qué resultados se obtienen?
3. Al conocer cómo se elabora el pronóstico, éste puede ser evaluado y determinarse qué calidad tiene, de qué adolece, cuál es su grado de exactitud, si es posible mejorarlo y cómo, y qué información es necesaria para ello.
4. Analizar cómo se utiliza ahora este pronóstico en el PCR: ¿Qué criterios del PCR se basan en los resultados del pronóstico? ¿Cuáles son las consecuencias de la calidad del pronóstico en la planificación de la campaña agrícola?
5. Examinar si el manejo del reservorio se planifica tomando en cuenta los pronósticos hídricos o el PCR. ¿Es posible mejorar este manejo?
6. Investigar qué modelos hidrológicos existen, qué resultados producen, qué datos se necesitan, si hay relación entre las descargas de diferentes meses y si es posible usar estas relaciones para pronosticar las descargas en la campaña agrícola; todo ello con el fin de determinar si es posible hacer un pronóstico o planificar mejor la campaña con tales modelos.
7. Determinar qué influencia tiene el proyecto de nueva Ley de Aguas en la planificación de la campaña agrícola. ¿Éste proporciona alguna alternativa para mejorar la planificación?
8. Extraer las conclusiones y recomendaciones del estudio, las mismas que podrían convertirse en insumo de posteriores investigaciones.
9. Elaborar un artículo acerca de los resultados de la presente investigación para que el tema del pronóstico hídrico y su relación con el PCR sea conocido mejor por los agricultores.

EL INSTITUTO DE APOYO AL MANEJO DEL AGUA DE RIEGO (IMAR-COSTA NORTE)

El IMAR-Costa Norte fue fundado el 13 de setiembre de 1991, con el propósito de articular los esfuerzos que de manera dispersa realizaban una serie de instituciones en el Valle Chancay-Lambayeque es busca de una solución integral y sustentable a la problemática del manejo del agua de riego.

El IMAR está conformado por las siguientes instituciones:

- ☐ Junta de Usuarios del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque.
- ☐ Colegio de Ingenieros del Perú-Consejo Departamental de Lambayeque.
- ☐ Centro de Investigación, Capacitación, Asesoría y Promoción (CICAP).
- ☐ Dirección Regional de Agricultura.
- ☐ Servicio Holandés para la Cooperación al Desarrollo (SNV).

- ☐ Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- ☐ Centro de Estudios Sociales «Solidaridad».
- ☐ Instituto de Desarrollo Agrario de Lambayeque (IDAL).
- ☐ Región Nor Oriental del Marañón (RENOM).
- ☐ Dirección Ejecutiva del Proyecto Olmos-Tinajones (DEPOLTI).

El IMAR promueve la adecuada utilización de los recursos económicos naturales, desarrolla propuestas concertadas e intenta evitar la duplicidad de funciones y asegurar la continuidad de las mismas; además cuenta con criterios técnicos unificados para el logro de una adecuada conducción de la cuenca (IMAR 1997).

La misión de IMAR es potenciar a las organizaciones e instituciones de la población rural en la gestión del agua, con un enfoque integral de los recursos naturales, a fin de contribuir a su desarrollo productivo y democrático.

Los objetivos de IMAR son:

- ☐ Desarrollar metodologías de capacitación y asesoría.
- ☐ Realizar un intercambio de metodologías entre las organizaciones ligadas al riego.
- ☐ Aplicar en el Valle Chancay-Lambayeque una metodología de reordenamiento de los recursos hídricos.
- ☐ Generar recursos propios que lo hagan sostenible.
- ☐ Ser reconocida como una institución competente e innovadora entre los usuarios, las instituciones regionales y la cooperación internacional.

El IMAR ejecuta dos proyectos: 1. El Proyecto «Apoyo al Manejo del Agua de Riego en la parte baja de la cuenca del río Chancay-Lambayeque» (APOMAR); y 2. El Proyecto «Gestión de Cuenca Chancay-Lambayeque».

El presente estudio ha sido realizado para el proyecto APOMAR, el mismo que es coejecutado con la Junta de Usuarios del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque y sus 14 Comisiones de Regantes y se encuentra en su segunda fase de ejecución.

La primera fase (1993-1996) se centró en lograr la consolidación, representatividad, transparencia y legitimidad de las organizaciones de usuarios para que desarrollen una gestión eficiente del Sistema Tinajones.

La segunda fase (1997-2000) busca que las organizaciones de usuarios se conviertan en entidades fuertes y consolidadas que gestionen con eficiencia el recurso hídrico. Los objetivos específicos del proyecto apuntan a lograr que las organizaciones de usuarios presten servicios óptimos a sus asociados y que los usuarios –hombres y mujeres– participen activamente en la gestión, operación y mantenimiento del Sistema Tinajones. Además, pretende que las instituciones públicas y privadas participen en el fortalecimiento de la capacidad de gestión de las organizaciones de usuarios, que el agua de riego sea manejada con mayor eficiencia a nivel de parcela a fin de contribuir a mejorar la productividad y detener la salinización de los suelos.

Este estudio forma parte de una de las actividades del Proyecto, cual es mejorar la calidad y cantidad de la información para la toma de decisiones, específicamente en la subactividad pronóstico climático e hídrico.

DESCRIPCIÓN GLOBAL DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

La cuenca Chancay-Lambayeque consta de cuatro zonas: El valle, la parte media, la parte alta y el trasvase. En el valle se encuentra el sistema regulado de riego (Tinajones), el cual fue construido en los años sesenta y setenta y tiene una área de aproximadamente 100,000 hectáreas con 20,000 usuarios registrados. Allí se cultiva arroz, caña de azúcar, algodón, pan llevar y otros (Cuadro 1). La región es plana y la altitud máxima alcanza los 500 msnm. En esta parte se encuentran las ciudades de Chiclayo, Lambayeque y Ferreñafe y el reservorio Tinajones, con una capacidad de 320 millones de metros cúbicos –mmc– (Oasis 1996).

CUADRO 1
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA CHANCAY-LAMBAYEQUE

	Valle	Parte media	Parte alta	Trasvase
Superficie (km ²)	3,037	685	1,979	385
Altitud (msnm)	0-500	500-1,500	1,500-3,500	2,000-3,500
Precipitación (75% prob.) (mm)	-	300	700-1,000	750
Cultivos predominantes	Arroz, caña de azúcar, pan llevar y algodón	Yuca, maíz	Papa, maíz y trigo	Papa, maíz y arveja
Infraestructura mayor de riego	Reservorio Tinajones			Túnel Chotano y Conchano

Fuente: Oasis, Año III, Nº 9, octubre de 1996.

La parte media tiene una altitud de 500 hasta 1,500 msnm. La altitud de la parte alta se estima desde 1,500 hasta 3,500 msnm. Las dos zonas juntas tienen un área de 3,150 km². Los cultivos más importantes son papa, maíz, yuca y trigo (Cuadro 1). La mayor parte del río Chancay, principal afluente del sistema de riego Tinajones, se encuentra en esta zona. La longitud de este río desde su inicio hasta la Bocatoma Raca Rumi es de aproximadamente 120 km y su longitud total hasta el Océano Pacífico es 170 km (DEPTI 1987).

La zona de trasvase comprende parte de las cuencas de los ríos Conchano y Chotano. El agua de estos ríos llega hasta el Chancay por dos túneles. La descarga del trasvase es de 135 mmc al año. La descarga promedio de los ríos Chancay, Chotano y Conchano en conjunto es de 965 mmc al año. Los cultivos principales en la zona de trasvase son papa, maíz y arveja. Su altitud está entre 2,000 y 3,500 msnm (Oasis 1996).

Las precipitaciones en las cuatro zonas son diferentes. En el valle casi no hay lluvia en años normales y ésta solamente se presenta durante el fenómeno «El Niño». En la parte media la precipitación es de 300 mm con una probabilidad de 75% y en la parte alta las precipitaciones oscilan entre 700 y 1,000 mm cada año. En el trasvase la precipitación asciende a 750 mm.

Los ríos aportantes tienen un régimen hidrológico variable. El mayor porcentaje del volumen total se concentra entre los meses de febrero y mayo, situación análoga a las lluvias de la sierra.

La geología de esta cuenca es bastante compleja y parece muy desorganizada. Durante el Mesozoico se depositaron en la cuenca piedras calizas, arena y otros tipos de rocas que fueron roturadas, plegadas y desplazadas por tectónica. El agua de la lluvia ha disuelto parcialmente la caliza y el grado de disolución depende de la cantidad de roturas y quebraduras. Por eso en algunos lugares el agua del río desaparece por filtración hacia el subsuelo o corre muy rápido dentro de éste. En otros lugares no puede entrar al subsuelo y corre sobre la superficie hacia los ríos y quebradas. En el Terciario se depositaron muchos tipos de rocas de volcanes.

En seguida nos referiremos a las cinco instituciones que están involucradas con la planificación de la campaña agrícola:

- ❑ La Dirección General de Aguas y Suelos (DGAS) es la encargada de promover las políticas, planes y normas sobre el uso, manejo y conservación de los recursos agua y suelo en el ámbito de las cuencas hidrográficas. Una de sus funciones es elaborar en el mes de junio los pronósticos de las descargas mensuales para la planificación de la campaña agrícola (Ministerio de Agricultura s/f).

La DGAS es un órgano de línea del Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), entidad oficial responsable de promover y apoyar el uso sostenible de los recursos naturales renovables orientado a contribuir al desarrollo del país (Ministerio de Agricultura s/f).

- ❑ La Administración Técnica del Distrito de Riego Chancay-Lambayaque (ATDRCH-L) es un órgano dependiente del Ministerio de Agricultura y tiene la jurisdicción administrativa de todo el Sistema de Riego Tinajones. Según el Decreto Supremo N° 0048-91-AG/OGA OAD UT, Artículo 120, algunas de sus funciones principales son:

- Supervisar que los recursos hídricos tengan un uso racional y eficiente.
- Presidir las reuniones del Comité de Coordinación.
- Hacer una propuesta para el PCR, presentar el balance hídrico y los ajustes de hectáreas.

La ATDRCH-L es una entidad importante en la planificación de la campaña

agrícola porque diseña los PCR y preside el Comité de Coordinación.

- ❑ El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) está encargado de los registros y estudios meteorológicos, glaciológicos y limnológicos de todas las cuencas del territorio nacional. El SENAMHI mide las descargas que forman la base de los cálculos de la disponibilidad de agua para la planificación de la campaña agrícola y entrega estos reportes a la DGAS y la ATDRCH-L.
- ❑ El Comité de Coordinación de Agua y Riego fue creado en 1989 para lograr una eficiente utilización de los recursos agua y suelo. La Resolución Ministerial N° 00433-89-AG/DGAS establece lo siguiente:

El Comité de Coordinación está constituido por:

- El Administrador Técnico.
- El Presidente de la Junta de Usuarios.
- El Gerente Técnico de la Junta de Usuarios.
- Un representante de la organización responsable de la conservación, operación y mantenimiento del sistema de riego (actualmente ETECOM S.A.).

Las funciones del Comité de Coordinación relacionadas con la planificación de campaña son:

- Concertar y corregir los PCR.
- Concertar los planes de distribución de agua de regadío en función de los PCR aprobados y los programas y presupuestos para el mantenimiento de la infraestructura del Sistema Tinajones.

A iniciativa del Presidente del Comité de Coordinación se podrá invitar a las reuniones a representantes de:

- Las Comisiones de Regantes (Presidente).
- Las Cooperativas Agrarias Azucareras de Producción (ahora Sociedades Anónimas).
- EPSEL (Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque).
- IDAL (Instituto de Desarrollo Agrario de Lambayeque).
- Agencia Agraria de Chiclayo.
- Otras instituciones.

Estas personas oficialmente tienen derecho a voz, pero no a voto.

- La Junta de Usuarios del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque (JUDRCH-L) es una asociación de derecho privado que agrupa a todos los usuarios del mencionado distrito. Sus objetivos principales son el logro de la participación activa de sus inte-

grantes en el desarrollo, preservación, conservación y uso racional de los recursos agua y suelo, así como la implementación y mantenimiento de la infraestructura de riego del sistema.

A nivel de subsectores existen catorce (14) Comisiones de Regantes. En el valle la JUDRCH-L cuenta con uno o dos representantes de cada Comisión de Regantes, un representante por las tres ex-Cooperativas Agrarias Azucareras (Pucalá, Tumán, Pomalca), un representante de EPSEL y un delegado elegido por los usuarios del agua con fines no agrícolas.

Según el Decreto Supremo N° 0048-91-AG/OGA OAD UT, Artículo 128, las funciones que asume la Comisión de Regantes en la planificación son:

- Participar en la formulación, ejecución y control de los PCR.
- Distribuir el agua de riego asignada para su subsector.

1. LAS FUENTES DE AGUA DISPONIBLE

En el Valle Chancay-Lambayeque se utilizan diferentes fuentes de agua para la campaña agrícola:

1. Agua superficial.
2. Agua del Reservoirio Tinajones.
3. Agua subterránea.
4. Agua de retorno o recuperación.

La disponibilidad de agua superficial se determina para cada año como una probable descarga del río Chancay con una persistencia de 75%. Esta fuente de agua constituye la mayor parte de la oferta. Más adelante se detalla cómo se determina la descarga.

No es posible utilizar todo el volumen existente en el Reservoirio Tinajones para la campaña agrícola pues, además de la reserva técnica, es indispensable almacenar al final de la campaña una determinada cantidad de agua que servirá para iniciar la próxima campaña. Sin embargo, en la actualidad todo el volumen almacenado, menos la reserva técnica que es de 12 mmc (Salzgitter Consult Gesellschaft MBH 1981), es incluido en el cálculo de la disponibilidad de agua del reservoirio.

El agua subterránea aprovechada alcanza aproximadamente los 150 mmc. En teoría, los usuarios tienen que declarar la masa anual de aguas subterráneas que utilizan. En el cálculo de la disponibilidad de agua se considera que todos los agricultores que cultivan caña de azúcar deben emplear el 30% de agua de subsuelo (aproximadamente 150 mmc) y el 70% de agua superficial de su demanda total.

La disponibilidad de las aguas de retorno está dada por las aguas de recuperación de las partes altas del sistema (sector de riego

Chongoyape) y las áreas ubicadas en la parte media que es atendida por el río Reque. El agua es recuperada a la altura de la Bocatom Monsefú-Reque y las tomas directas de este río. Se estima que la masa de agua de recuperación alcanza valores de 50 mmc cada año (Anexo 2). La ATDRCH-L usa el siguiente dato: recuperación promedio de Monsefú y Reque 1,7 m³/s.

Demanda de la población y la industria

Una parte del agua se destina al uso doméstico de los habitantes del valle y otra para la industria.

☐ *Agua para la población (± 50 mmc):*

- Chiclayo: 1,2 m³/s en invierno (9 meses) y 1,5 m³/s en verano.
- Lambayeque: 0,2 m³/s.
- Chongoyape: 0,1 m³/s.

☐ *Agua para la industria (± 19 mmc/año):*

- Ex-cooperativas agrarias azucareras: 0,6 m³/s

Estos datos son iguales todos los años. La fuente o la antigüedad de la información se desconoce (versión oral del Administrador Técnico).

Pérdidas

Al calcular la disponibilidad de agua se considera un 25% de pérdida a nivel de las Comisiones de Regantes, razón por la cual ETECOM S.A. tiene que entregar 25% más del volumen de agua solicitado por cada Comisión. El agua que se pierde en el sistema mayor por proble-

mas de conducción y almacenamiento no se considera en la planificación de la campaña agrícola. Estas pérdidas ascienden aproximadamente a 17% (Solórzano 1996).

En la planificación se considera las pérdidas de la siguiente manera: si, por ejemplo, la Comisión de Regantes Ferreñafe solicita tres riegos de 160 l/s, ETECOM S.A. tiene que dar $3 * (1.25 * 160) = 600$ l/s y no 480 l/s. Las pérdidas reales del recurso hídrico al interior de las Comisiones de Regantes aún no se han investigado.

Disponibilidad de agua para cultivos

La disponibilidad de agua para los cultivos bajo riego (M) en miles de metros cúbicos se calcula en la actualidad de la siguiente manera:

$$M = (\text{oferta} - \text{demanda de otros usos}) / 1,25$$

$$M = [(\text{descarga} (Q_{75}) + (\text{volumen del reservorio} - \text{reserva técnica} (V_{\text{res}} - R_{\text{tec}})) + (\text{agua subterránea} + \text{recuperación}) - (\text{demanda de población e industria})] / 1,25$$

(*) Se divide por 1,25 para considerar 25% de pérdidas.

$$M = [(Q_{75} + V_{\text{res}} - 12 + 150 + 50) - (50 + 19)] / 1,25 = [Q_{75} + V_{\text{res}} + 119] / 1,25$$

2. PROBABILIDADES DE DESCARGA DE LOS RÍOS

Como responsable del PCR, la ATDRCH-L tiene a su cargo el cálculo de la disponibilidad de agua. Para pronosticar la cantidad de agua superficial la ATDRCH-L usa el «pronóstico» de la DGAS con una persistencia mensual del 75%. La DGAS utiliza solamente la estadística para calcular la probabilidad de descarga con una persistencia determinada; entonces, la DGAS no calcula un *pronóstico*, sino una *probabilidad*.

Una *probabilidad* da a conocer la descarga mínima que se presenta en un porcentaje de

terminado de años, por ejemplo, en el 75% de años. Veamos: si la DGAS calcula que la probabilidad con 75% de persistencia de enero es 35.7 mmc, esto quiere decir que en 75% de los años se presentará una descarga mayor que 35.7 mmc y en 25% una descarga menor. Al emplear este método no se puede determinar en qué años exactamente la descarga será menor o mayor que esa cifra. Tal manera de calcular *no* permite conocer las descargas del próximo año, pero da a conocer una descarga que con una seguridad de 75% va a estar excedida.

En este caso el cálculo de probabilidades es independiente del tema, es decir se puede calcular, por ejemplo, la probabilidad del número de asaltos en Chiclayo de igual manera como se calcula la probabilidad de descargas del río.

Un *pronóstico* busca determinar con cierta exactitud la descarga de un río en un año específico bajo determinadas circunstancias; se basa en procesos (modelo conceptual) o relaciones entre dos cosas (modelo de caja negra).

Un pronóstico de tipo caja negra usa múltiples datos de precipitaciones y descargas para encontrar una relación entre ambas, sin estudiar los procesos físicos que determinan esta relación. Cuando se conoce la cantidad de lluvia durante un año, se puede pronosticar la descarga utilizando dicha relación. Otro tipo de pronóstico se basa en un modelo conceptual que describe los procesos hidrológicos de la cuenca. Los modelos hidrológicos para pronosticar la descarga se tratan en el Capítulo IV.

La diferencia entre una probabilidad y un pronóstico es que el resultado de este último es diferente cada año, pues se toman en cuenta datos actuales de cada año. En cambio, la probabilidad es muy similar para todos los años. Otra diferencia es que los pronósticos se basan en modelos, los que son una reproducción simplificada de la realidad, razón por la cual están más acordes con la realidad que una probabilidad.

Si es posible, es mejor pronosticar la descarga que una probabilidad, porque un pronóstico reporta la descarga real del año próximo mientras una probabilidad de 75% de persistencia solamente da a conocer la descarga mínima que se presenta en 75% de los años (ver Recuadro *Probabilidades y pronósticos...*).

Cálculos de la DGAS y la ATDRCH-L

La DGAS usa las descargas mensuales de 1960 hasta el presente (1997) para calcular las pro-

habilidades (ver Cuadro 2). Primero ordena las descargas desde la más grande a la más pequeña en forma decreciente y calcula con las descargas ordenadas las probabilidades de 50, 75 y 90% de persistencia mensual (ver recuadro *¿Qué es una persistencia?*); no estima ninguna probabilidad para la descarga de un año, ni suma las probabilidades mensuales.

La ATDRCH-L usa las probabilidades de 75% de persistencia mensual de la DGAS y las suma para obtener la probabilidad de 75% de persistencia anual. El Cuadro 3 muestra las su-

PROBABILIDADES Y PRONÓSTICOS CON MODELOS DE CAJA NEGRA Y PRONÓSTICOS CON MODELOS CONCEPTUALES

En Chiclayo hay asaltos todos los años; algunos años se presentan muchos, otros años pocos. La Municipalidad quisiera saber cuántos asaltos habrá el próximo año. Para realizar el cálculo se toma información de los últimos diez años. Se calcula cuántos asaltos ocurrieron en el 50% de los años y se espera que esta cantidad aproximada de asaltos se cometan el año próximo. Esta forma de calcular se basa en la estadística. No se puede conocer si habrá un año con muchos o pocos asaltos basándose solamente en información sobre la cantidad de asaltos ocurridos en el pasado, pero se puede calcular probabilidades.

De otro lado, "X" quiere pronosticar la cantidad de asaltos con un modelo de caja negra. "X" ha descubierto que cuando el precio del dólar aumenta, hay más asaltos, pero no le interesa conocer por qué se da esa relación. Nuestro personaje recopila la información sobre el valor del dólar del mes de enero de muchos años y el número de asaltos cometidos en los mismos años. "X" calcula estadísticamente una relación entre ambos que da como resultado que el número de asaltos es 18.0 veces el número de soles que se obtiene por un dólar. No sabe y tampoco le interesa por qué ocurre esto. En enero de este año el valor del dólar fue de S/. 2.50, entonces "X" calcula $2.50 \times 18.0 = 45$ asaltos para este año. "X" usa un modelo de caja negra ya que no entiende por qué hay más asaltos cuando el dólar es caro, sino solamente sabe que existe una relación entre ambos hechos.

Una tercera persona quiere entender todo y se entrevista con ladrones y sus víctimas. Asimismo "X" investiga y descubre que cuando la situación económica es mala todos los productos se encarecen, la gente se hace más pobre y se ve en la necesidad de robar más. En esos años el valor del nuevo sol disminuye, el dólar aumenta su costo, hay mayor desempleo y se cometen más asaltos. El investigador hace muchos cálculos, recopila suficiente información y al fin puede entender y explicar por qué en algunos años se presentan más asaltos que en otros. Con este conocimiento puede establecer la cantidad de asaltos que se puede esperar el próximo año y con ello ha desarrollado un modelo conceptual.

CUADRO 2
LAS DESCARGAS DE 50, 75 Y 90% DE PERSISTENCIA MENSUAL CALCULADAS CON EL MÉTODO DE LA DGAS

P (%)	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
50	19,8	21,1	44,3	50,9	51,5	66,2	94,7	145,5	145,1	90,1	45,8	27,5
75	14,2	13,0	23,7	29,9	29,1	35,7	52,4	87,1	95,2	62,2	31,9	19,4
90	11,6	9,7	16,3	21,8	20,7	24,7	36,7	64,1	73,9	49,8	25,7	15,8

CUADRO 3
SUMA DE LAS PROBABILIDADES MENSUALES CALCULADAS POR LA ATDRCH-L Y LAS PROBABILIDADES ANUALES CALCULADAS SEGÚN EL MÉTODO DE LA DGAS (mmc/año)

Persistencias (%)	Suma de las probabilidades mensuales	Probabilidad anual
50	802.5	876.9
75	493.8	636.4
90	370.6	525.1

¿QUÉ ES UNA PERSISTENCIA?

La ATDRCH-L usa una probabilidad de 75% de persistencia, que significa una descarga baja. Esto requiere una explicación. Una descarga de 75% de persistencia significa una descarga que el 75% de tiempo persiste, entonces esta descarga o una descarga mayor se presenta en 75% del tiempo. Veamos: se tienen datos sobre la descarga de un río durante cuatro años. Las descargas de agosto en esos años fueron:

Año	Descarga (mmc)
1900	30
1901	40
1902	20
1903	50

Se quiere conocer cuál es la descarga con una persistencia de 75%.

En el ejemplo, el 75% de persistencia corresponde al 75% de los cuatro años, que es $0.75 * 4 = 3$ años. La descarga que se presenta en tres años es 30 mmc (1900, 1901 y 1903), entonces la descarga con una persistencia de 75% es 30 mmc.

Si se quiere determinar qué descarga tiene una persistencia de 50%, hay que buscar la descarga que se presenta en 50% de los cuatro años, esto es en dos años. Esta descarga es de 40 mmc, entonces es mayor que la descarga que se presenta en 75% de los años.

La DGAS usa la fórmula de Weibull para calcular las probabilidades y no un porcentaje exacto de los años, porque se supone que la serie que se emplea no tiene las descargas máximas o las mínimas que se van a presentar en el futuro. Es posible que se presente una descarga mayor o menor que todas las descargas medidas hasta ahora.

Es objetivo del ejemplo es explicar que persistencia significa la descarga mínima que se produce en un porcentaje de años. La forma de calcularla que presentamos aquí es más sencilla que el método usado en la realidad (Anexo 3).

mas de las probabilidades mensuales así como las probabilidades anuales calculadas de la misma manera que las mensuales, esto es, ordenando las descargas anuales y calculando con estadística las probabilidades (Anexo 3). La suma de las descargas con una persistencia de

75% mensual es de 494 mmc y la descarga que está excedida en 75% de los años es de 636 mmc. Como se puede ver, no son iguales. La suma de las probabilidades mensuales que usa la ATDRCH-L es más baja que la probabilidad anual calculada según el método de la DGAS.

La ATDRCH-L no utiliza solamente la probabilidad de 75% de persistencia mensual de la DGAS para pronosticar la descarga, porque esta probabilidad mensual es casi la misma para cada año (siempre es baja). La ATDRCH-L pronostica a veces un año seco, otras veces uno húmedo y en ocasiones uno normal, lo que significa que para hacer estos pronósticos necesariamente emplea otro tipo de información, pero no está claro de qué información se trata.

3. EVALUACIÓN

A. Cálculos para determinar las probabilidades de las descargas

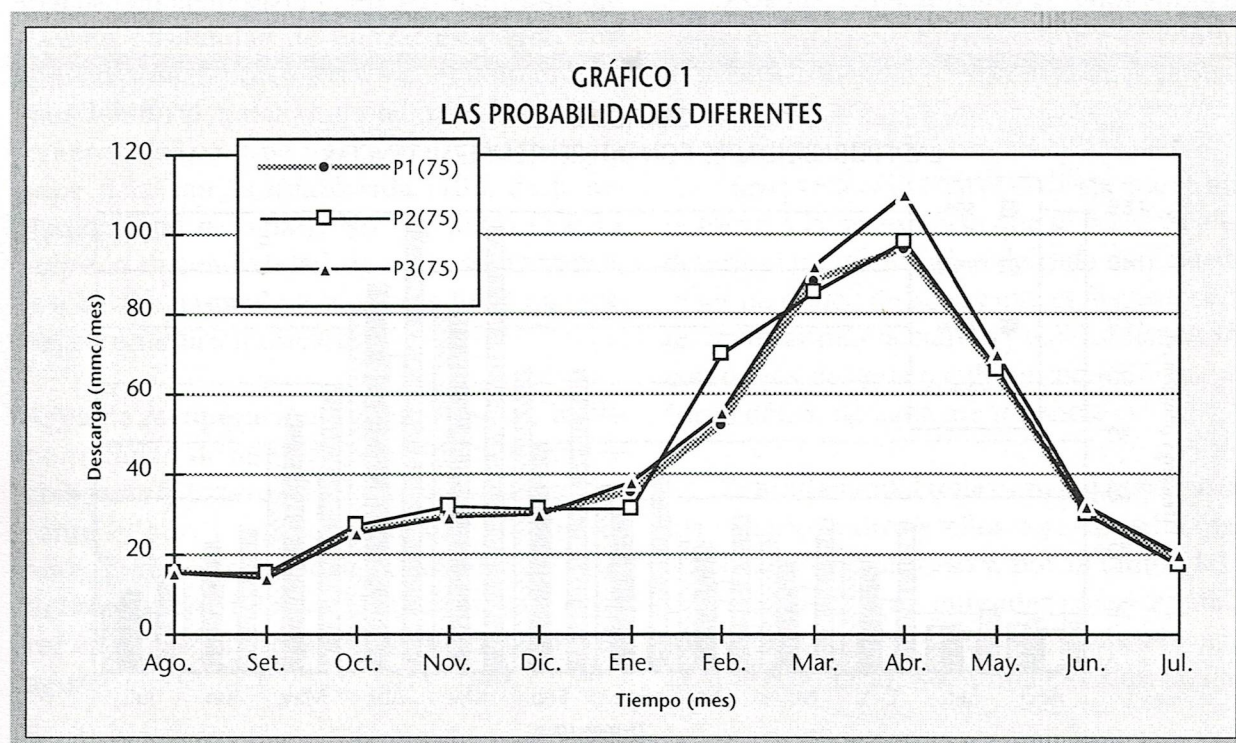
Hay dos errores en el método para calcular las probabilidades de las descargas descrito en el acápite anterior y en el Anexo 3.

❑ Primer error: No se considera la construcción del túnel Conchano

El primer error es que todo el cálculo se basa en que lo sucedido en el pasado se puede es-

perar en el futuro si permanecen las mismas condiciones. Pero las condiciones han cambiado desde 1960. En 1983 se construyó el túnel Conchano, aumentó la descarga y cambió la distribución del agua durante el año. Antes de que se construyera el túnel, el promedio de la descarga era de 922 mmc y con este túnel es de 973,3 mmc. La descarga que sale del túnel es de 68 mmc promedio (IMAR 1996).

Para realizar cálculos basados en la estadística no es suficiente usar los datos de las descargas de las campañas 1983-1984 hasta 1997-1998 –solamente catorce años– porque el grado de exactitud de la probabilidad será bajo. Estas probabilidades son un poco mayores si se manejan los datos de los años 1960 hasta la presente campaña. Otra posibilidad es utilizar los reportes de los años 1927 hasta la actualidad y corregir los datos de las descargas para hacer comparables los datos de antes y después de la construcción de los túneles Chotano (construido en 1960) y Conchano (Anexo 4). Las diferencias se presentan en el Anexo 5 y en el Gráfico 1.



P1(75): La descarga con una persistencia mensual de 75% basada en los datos de 1960-1997.

P2(75): La descarga con una persistencia mensual de 75% basada en los datos de 1983-1997.

P3(75): La descarga con una persistencia mensual de 75% basada en los datos de 1927-1997 corregidos para el período anterior a la construcción de los túneles.

❑ **Segundo error: Se utilizan probabilidades mensuales para planificar el año agrícola**

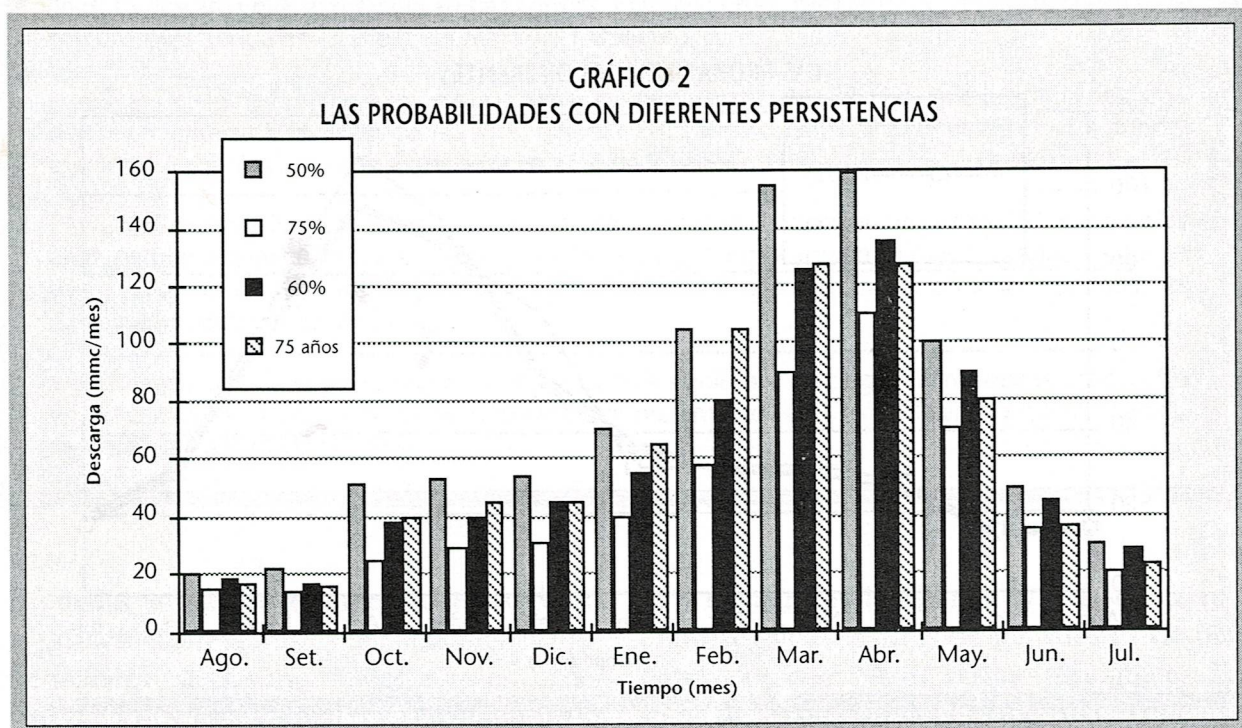
La DGAS calcula las probabilidades de cada mes con una persistencia del 75%. La ATDR-CH-L, por su parte, suma estos meses y establece que la persistencia de la suma de estas probabilidades también tiene una persistencia de 75%. Este es el error más grave. Es bastante probable que en otros valles de la costa se cometan los mismos errores, pues es la DGAS la entidad que les proporciona información.

La probabilidad de que la descarga sea baja en un mes no es igual a la probabilidad de que la descarga sea baja en todos los meses. Por eso resulta que la suma de las persistencias mensuales al 75% (532 mmc) es menor que la descarga anual con una persistencia de 75% (712 mmc) (¡inclusive menor que la descarga con una persistencia de 90%!). La diferencia es de 180 mmc (¡descarga para regar aproximadamente 12,500 ha de arroz!). El Cuadro 4 presenta la suma de las probabilidades mensuales y anuales calculadas con la misma persistencia usando datos de los años 1927 hasta 1997 corregidos como se describe en el Anexo 4.

Persistencia	Año	Suma
50%	951	858
75%	712	532
90%	598	402
60%	847	601

Para evitar este error hay que emplear la descarga anual de 75% de persistencia y distribuir la descarga en los diferentes meses del año en porcentajes iguales a los promedios de las descargas mensuales. Si no se quiere desarrollar un plan para un año sino solamente conocer cuál será la descarga de un mes con una persistencia de 75%, se debe tomar la descarga de ese mes con 75% de persistencia mensual.

El Gráfico 2 muestra que las descargas con una persistencia de 75% anual son mayores que las descargas con una persistencia mensual de



Donde: 50% y 75%: Probabilidades con persistencias de estos porcentajes mensuales.
75 años: Probabilidad con una persistencia de 75% anual.

75%. El Anexo 5 presenta diversas probabilidades y sus resultados para los diferentes meses.

B. Disponibilidad de las otras fuentes de agua

El Reservorio Tinajones: El volumen del reservorio se suma a la disponibilidad hídrica del valle, lo cual no es correcto porque se necesita este volumen también para empezar la campaña el año próximo. Lo recomendable sería calcular el volumen neto, es decir, el volumen que está en el reservorio en agosto menos el volumen que debe tener el reservorio al final de la campaña: $V_{\text{inicio}} - V_{\text{fin}}$ (la campaña agrícola es de agosto a julio). El V_{fin} tiene que ser suficiente como para iniciar la siguiente campaña. El manejo del reservorio se describe en el Capítulo III.

Agua subterránea: En la planificación se considera que de la demanda total de agua para el cultivo de caña de azúcar, un 30% debe estar constituida por agua de subsuelo. Pero ocurre que la totalidad de sembradores de caña no está en posibilidad de utilizar esta agua porque no poseen pozos o si los tienen no funcionan debido al mal mantenimiento. Por eso los cañeros utilizan una mayor cantidad de agua superficial que la establecida (70% de la demanda total de agua). No hay datos exactos sobre la disponibilidad de agua subterránea, por lo que hasta el momento se tiene que trabajar con esta suposición.

Agua de recuperación: Los datos sobre la disponibilidad de agua de recuperación tampoco son muy exactos. Ésta no es constante durante el año y tampoco durante diferentes años, porque depende de la cantidad de agua del reservorio. Ello también es causa de errores en el cálculo de la disponibilidad total de agua.

Demanda de la población y la industria: La ATDRCH-L usa una demanda constante cada año. Las empresas de agua potable y las azucareras en realidad no tienen que declarar sus demandas de agua. No se conoce cuál es la antigüedad de estos datos.

Pérdidas: En la planificación de la campaña agrícola no se consideran las pérdidas de agua –aproximadamente del 17%– del sistema mayor, las cuales son reales y deben ser tomadas en cuenta en la planificación de la campaña agrícola.

Las pérdidas a nivel de Comisión de Regantes son diferentes en cada subsector. El porcentaje de 25% de pérdidas que la ATDRCH-L calcula no se basa en datos medidos, pero es un porcentaje aceptable.

C. Consecuencias de usar probabilidades para la planificación de la campaña agrícola

Aunque en la planificación de la campaña agrícola se usan probabilidades, éstas son tomadas como pronósticos. El riesgo que esto conlleva es presentado en la persistencia de la probabilidad.

Hay que decidir cuál es el riesgo que se quiere tomar y la persistencia que se usará. Se debe determinar cuántos años de cada diez pueden tener un déficit de agua y qué es más importante: ¿cultivar más hectáreas y tener muchos años con déficit de agua o cultivar menos áreas y sufrir el déficit de agua menos años?

Es fundamental reflexionar al respecto con los usuarios porque ellos son los principales actores en este proceso y, por lo tanto, deben conocer los riesgos, entender cómo les afectarán y juntos tomar la decisión más adecuada, la que, por cierto, no es una decisión técnica.

1. DESARROLLO DEL PCR E INICIO DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA

La planificación de la campaña agrícola involucra cuatro decisiones importantes: la primera es en qué cantidad de agua se va a basar la planificación, la segunda qué cultivos y cuántas hectáreas se van a sembrar con esa agua, la tercera cuándo se inicia la campaña (con el agua del reservorio) y la última cómo se ajustará el PCR cuando haya un mayor o menor volumen de agua que la cantidad establecida.

Los objetivos del PCR son (Salzgitter Consult Gesellschaft MBH 1981):

- ❑ Racionalizar y administrar el uso de las aguas con fines agrícolas, así como la adecuada utilización de los suelos según su aptitud.
- ❑ Fijar y reajustar la dotación de agua que corresponde a cada predio o unidad agrícola durante la campaña correspondiente.
- ❑ Ordenar la producción agrícola por medio de su programación en el tiempo y el espacio.
- ❑ Lograr una eficiente administración y distribución del agua.
- ❑ Conocer con la debida anticipación los requerimientos de asistencia técnica, credittia, mano de obra e insumos en general.
- ❑ Estimar la producción en volumen, tiempo y espacio con el fin de adoptar las medidas más adecuadas para el abastecimiento y comercialización.

En este acápite se describe el procedimiento que en teoría se emplea en la elaboración y desarrollo del PCR y cómo se toma la decisión de empezar la campaña agrícola.

Encontramos referencias a la planificación del cultivo y riego en la Ley de Aguas del 24 de

junio de 1969, en el Reglamento del uso de aguas del Sistema de Riego Tinajones de 1972 del Ministerio de Agricultura y en el normativo para la formulación de los PCR del 30 de noviembre de 1973.

Todos los años, durante el mes de junio, los agricultores deben declarar ante la Comisión de Regantes su intención de siembra para la campaña. Los cañeros declaran sus disponibilidades de agua subterránea y su régimen de explotación. Deben indicar también las fechas y áreas de siembra, renovaciones y ajustes indicando asimismo la distribución mensual durante la campaña.

Con dicha información las Comisiones de Regantes de cada subsector procesan en cuadros especiales los datos, los agrupan por canales y laterales de riego y envían un informe a la Junta de Usuarios para su consolidación. La empresa de agua potable que usa el agua del Sistema Tinajones tiene que declarar también sus demandas mensuales de agua superficial.

La ATDRCH-L tabula la información de las solicitudes presentadas por los usuarios en usuarios por cultivo y cultivo por canal y calcula la demanda de agua mensual. Luego, la ATDRCH-L tiene que elaborar el PCR, para lo cual, según el Reglamento actualizado del uso de agua del Sistema Tinajones de 1996 (no aprobado todavía oficialmente), deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- ❑ El calendario de siembra y cosecha de los cultivos a programarse.
- ❑ Los coeficientes de riego de cada cultivo (Anexo 8) y la superficie que ocupará cada uno de ellos.
- ❑ Las reglamentaciones vigentes sobre cultivos.

- ❑ Las solicitudes de los usuarios respecto a los cultivos que más les interesa desarrollar.
- ❑ Los estudios agrológicos existentes.
- ❑ La evaluación hidrológica de las probables disponibilidades.
- ❑ Las características y condiciones de la infraestructura de riego y drenaje.
- ❑ Las características climatológicas.
- ❑ La dimensión del predio y su forma de explotación.
- ❑ La capacidad instalada y operativa de la ATDRCH-L y de las organizaciones de usuarios, para efectos de su ejecución y supervisión.

En la demanda de agua se integra la demanda para usos agrícolas, poblacionales y otros. La demanda se compara con las disponibilidades de agua pronosticadas y si aquella es mayor, se elaboran criterios de ajuste de la dotación del recurso al PCR solicitado. Estos criterios varían cada año.

Los ajustes se pueden producir por reducción de áreas, desfases en la fecha de siembra y cambios de cultivos y períodos de siembra. No se pueden ajustar las dotaciones de agua *que demanden los cultivos permanentes, ni las que están comprendidas dentro del área agrícola familiar (3 ha).*

El Administrador Técnico expone ante el Comité de Coordinación un análisis del PCR solicitado, los resultados de la comparación y los criterios de ajuste. El Comité aprueba los ajustes necesarios y con base en ellos la ATDRCH-L elabora el PCR definitivo.

Cuando no hay suficiente agua se atiende primero los requerimientos de uso poblacional e industrial, luego los cultivos permanentes y finalmente el saldo de la masa de agua disponible se distribuye en forma proporcional al coeficiente de riego de cada cultivo por las extensiones que éstos ocupen en cada predio.

Finalmente, el PCR es aprobado por el Comité y refrendado por la DGAS. A cada usua-

rio se le entrega la correspondiente cédula autorizada y se elabora un informe del PCR, el cual debe ser publicado y distribuido a las entidades del sector público y privado (IMAR-Costa Norte 1992).

Antes la ATDRCH-L formulaba PCR alternativos, justificados por las características y fluctuaciones de los recursos hídricos. Uno de ellos era el PCR con 100 mmc más que lo pronosticado. Éste se elaboraba por si la descarga de los ríos hubiese sido mayor a 70 mmc en octubre. Estos 100 mmc se distribuían entre los usuarios con licencia no considerados en el PCR elaborado al 75% de duración.

Cuando el volumen de agua era menor al pronosticado, el PCR no se ajustaba hasta febrero. Si en el período octubre-enero las masas de agua aportadas por los ríos eran menores a los 100 mmc o cuando la descarga de febrero era menor que 100 mmc, se ajustaba el PCR entre los meses de marzo y julio.

El Comité de Coordinación tenía la tarea de estar alerta frente a situaciones imprevistas y tomar decisiones con respecto a la ampliación o reducción de las áreas de cultivo. Estas decisiones se basaban en los PCR alternativos.

Hoy en día el Administrador Técnico elabora sólo un PCR utilizando el pronóstico de 75% de persistencia de la DGAS. Si en el curso del año se presenta un volumen de agua mayor o menor al pronosticado, se ajustan las dotaciones de agua. Para los ajustes se utiliza, entre otros datos, la descarga actual y la información de la Universidad Nacional de Piura que se basa en la interpretación de la información satelital sobre la cantidad aproximada de precipitaciones que se pueden esperar para los siguientes días.

Los ajustes del PCR se realizan en forma mensual (versión oral del Administrador Técnico). Estos ajustes contemplan la reducción porcentual del agua para todos los cultivos. Por ejemplo, una hectárea de arroz puede obtener 10,000 m³/año de agua en lugar de 14,000 m³/

año. Si antes del inicio de la campaña agrícola hay más agua que la pronosticada, ésta se usa para llenar el reservorio. Después de iniciada la campaña, el agua se emplea para aprobar más hectáreas de arroz. Si todas las hectáreas con licencia tienen suficiente agua, las tierras inscritas «con permiso» la recibirán. Normalmente en el PCR se considera sólo una parte de área con licencia (porque el plan está basado en un pronóstico bajo con una persistencia de 75%) y las hectáreas con permiso reciben agua solamente cuando hay un excedente del recurso sobre lo planificado en un inicio.

Para ser considerado en el PCR, el agricultor tiene que estar inscrito en el Padrón de Uso Agrícola, tener en buenas condiciones la infraestructura de riego y drenaje de su predio y acreditar el pago de la tarifa de agua y de las cuotas aprobadas por el Administrador Técnico.

La fecha de inicio de las campañas de diferentes cultivos depende del volumen de agua existente en el reservorio. Éste se ha construido para distribuir el agua en el año de manera óptima. El agua almacenada permite empezar el riego antes de que se produzcan fuertes descargas en el río. El hecho de contar con un reservorio también brinda mayor seguridad a la población y a los cultivos permanentes del valle sobre la disponibilidad del recurso.

El PCR sirve para calcular la distribución de agua y para determinar la fecha de inicio de la campaña de los diferentes cultivos. La irrigación con agua del reservorio comienza normalmente el 15 de octubre con el riego del algodón. En teoría se empieza si hay más de 100 mmc en el reservorio, pero en la práctica la campaña de algodón se inicia casi siempre el 15 de octubre, aun cuando el volumen de agua del reservorio no alcance la cantidad señalada ya que este cultivo no demanda mucha agua.

Luego se evalúa con cuánta agua cuenta el reservorio; si hay suficiente, se empieza la campaña de arroz el 15 de noviembre; si no la hay se pospone la fecha. El Comité de Coordinación es el que decide qué cantidad de agua es

suficiente para empezar a regar el arroz. Esta decisión depende del «pronóstico», de la presión de los arroceros y de la situación política. Unos meses más adelante se dará comienzo a la campaña del maíz y las menestras.

El inicio de la campaña de arroz tiene mucha influencia en el manejo del agua en el valle, porque este cultivo demanda abundante recurso hídrico. Cuando la campaña de arroz comienza temprano, existe el riesgo de que el reservorio quede vacío antes de que se produzcan las precipitaciones mayores en la sierra y las descargas fuertes, dejando al arroz sin agua. Cuando el riego empieza tarde, el peligro de un déficit en el volumen de agua es menor, pero aún existe la posibilidad de que el invierno empiece temprano y de que el frío cause daños al cultivo al final de su período vegetativo, por lo que se debe buscar la fecha óptima para empezar la campaña de arroz.

El manejo del agua del reservorio y la decisión de iniciar la campaña agrícola se calculan con un pequeño modelo en el Capítulo V.

2. EVALUACIÓN DEL PCR

El PCR no funciona bien. Las evaluaciones de las campañas 1995-1996 y 1996-1997 y las áreas aprobadas, ejecutadas y solicitadas de estos años lo demuestran claramente (Anexos 6 y 7).

Uno de los motivos por los cuales el PCR no funciona es que se basa en datos incorrectos, razón por la que no se tiene confianza en él. El pronóstico casi siempre es bajo, los coeficientes de riego son antiguos y reflejan necesidades del recurso hídrico diferentes a las actuales. Por ejemplo, los agricultores señalan que pueden cultivar arroz con menos agua que en el pasado pues ahora siembran variedades mejoradas que utilizan menores volúmenes del recurso que las tradicionales y el manejo del agua es más eficiente. La disponibilidad de agua de subsuelo y de recuperación no se conoce bien. Con tantos datos inexactos no es posible estructurar un PCR adecuado.

Para calcular la demanda de agua en la campaña agrícola de 1996-1997 se usaron en teoría los coeficientes de riego antiguos (Anexo 8, Cuadro 1), pero en la práctica se utilizaron nuevos coeficientes menores que aquellos (Anexo 8, Cuadro 2). Estos nuevos coeficientes aún no son oficiales y es necesario recopilar datos de un mayor número de campañas para confirmarlos. La ATDRCH-L viene ejecutando investigaciones para determinar los coeficientes de riego exactos, pero requiere más datos y un mejor monitoreo.

El Comité de Coordinación sabe que las probabilidades utilizadas en la actualidad son muy bajas y los coeficientes de riego demasiado altos, por eso siempre aprueba más hectá-

reas de las que deberían sembrarse según estos datos. Al no haber confianza en el «pronóstico hídrico», éste no se usa. Entonces: no existe un sustento real para la planificación de la campaña. La planificación del año agrícola y la aprobación del PCR cambian sobre la base de un proceso de concertación y negociaciones subjetivas entre las diferentes instituciones involucradas, mas no de procedimientos técnicos o criterios fijos.

Los datos en que se fundamenta el PCR son incorrectos, por lo tanto cada vez se utilizan menos. Es más factible que la planificación de la campaña se vea influenciada por la presión política de los usuarios organizados. Esta mala planificación es una de las causas del inadecuado manejo de agua, además de provocar continuos conflictos sociales durante los años secos.

RECOMENDACIONES PARA ELABORAR ADECUADAMENTE EL PCR

- Mejorar las probabilidades.
- Elegir una persistencia.
- Hacer estudios sobre:
 - La disponibilidad del agua de subsuelo y de recuperación.
 - Los coeficientes de riego de los diferentes cultivos.
 - Las pérdidas.
 - Alternativas al PCR: la zonificación de cultivos u otras alternativas estipuladas en la nueva Ley de Aguas.
- Desarrollar un sistema de monitoreo.
- Mejorar las reuniones del Comité de Coordinación proporcionando mayor información a sus integrantes.
- Elaborar un manual sobre los procedimientos para desarrollar el PCR y utilizarlo.

En vista de su mal funcionamiento, diversas instituciones han buscado alternativas al PCR para la planificación de la campaña. Un ejemplo es el modelo CHANLAMB creado por la DEPTI, desarrollado específicamente para hacer una planificación óptima en el valle (modelo descrito en el Capítulo IV). Otro ejemplo es el proyecto de la nueva Ley de Aguas que elimina el PCR como una alternativa para manejar el agua de riego y sus efectos en la planificación (Capítulo VI).

Otro problema es que no es posible detectar errores en los datos porque no existen evaluaciones óptimas de las campañas. Hay cuadros que muestran cuántas hectáreas han sido aprobadas, solicitadas y ejecutadas, pero no sobre la cosecha de estas hectáreas. Por ejemplo, en la campaña 1996-1997 se cultivó una superficie bastante extensa de arroz (30,000 ha), lo que hacía prever un año muy productivo, sin embargo, la mayor parte de dicho cultivo se perdió.

Nadie sabe con exactitud cuál es el volumen real del agua que recibe cada usuario, ni qué sucede con el agua que nadie paga (60%). No hay suficientes datos para evaluar la planificación de la campaña y el manejo del agua y tampoco existe personal que realice ese trabajo. Se recomienda entonces aplicar un sistema de monitoreo o experimentos para determinar los datos en los que el PCR debe basarse, como son: disponibilidad de agua de subsuelo, coeficientes de riego, pérdidas, etcétera.

Para estructurar el PCR es necesario contar con un manual que fije criterios o procedimientos aceptados tanto por los usuarios como por el Comité de Coordinación. Este manual

no existe y la elaboración del PCR a nivel del valle es más un proceso de negociaciones que uno basado en datos técnicos. Como ejemplo se han incluido las evaluaciones de las campañas agrícolas 1995-1996 y 1996-1997 (Anexo 6). Si los datos para el PCR estuvieran más de acuerdo con la realidad, se podría preparar este manual de modo que los procedimientos para planificar la campaña fueran conocidos por todos.

El Comité de Coordinación tiene que redactar las actas de sus reuniones y distribuirlas entre sus integrantes. Antes de reunirse, es recomendable que los miembros del Comité conozcan las actas de la última reunión y que estén informados sobre la situación actual del reservorio y de las descargas del río Chancay. Con toda esta información sería más fácil tomar decisiones adecuadas.

¿Es posible hacer un pronóstico en lugar de calcular una probabilidad? Como vimos, la DGAS calcula probabilidades y no pronósticos. Para determinar si es posible hacer un pronóstico de la descarga en el Valle Chancay-Lambayeque, se ha investigado las posibilidades de diferentes modelos.

Anteriormente manifestamos que un modelo es una reproducción simplificada de la realidad. No es posible describir todos los procesos de la realidad en un modelo, sino solamente los mayores y más importantes. Existen numerosos modelos como, por ejemplo, los del crecimiento de las plantas, de las costumbres de la gente, los hidrológicos, de organización de empresas y muchos otros más.

Con un modelo se puede calcular todo tipo de cosas u organizar el trabajo. Los objetivos de un modelo pueden ser:

- ☐ *Obtener mayores conocimientos de un proceso.*
- ☐ *Predecir qué sucederá cuando cambia algo,* por ejemplo, qué impacto tendrá en el nivel freático cuando se extrae agua del subsuelo.
- ☐ *Predecir la salida del proceso.* Esto es posible cuando el modelo es adecuado y la información de la entrada es conocida. Por ejemplo, se puede predecir la descarga de un río con datos de precipitaciones obtenidos de una estación hidrometeorológica.

Los datos del proceso son muy importantes para un modelo. Cuando no hay suficientes o éstos son inexactos, el modelo tampoco puede ser exacto. Cuando existe mucha información exacta de una pequeña región, es posible desarrollar un modelo muy preciso aunque no perfecto, porque un modelo es siempre una reproducción simplificada de la reali-

dad; es decir, nunca es igual a la realidad. Cuanto menos datos haya, la reproducción de la realidad será más simplificada y los resultados del modelo más inexactos.

Antes de desarrollar un modelo es necesario pensar qué es lo que se desea hacer con él:

- ☐ ¿Qué resultados se necesitan?
- ☐ ¿Qué datos se requieren?
- ☐ ¿Con qué datos se cuenta y cuál es su grado de exactitud?
- ☐ ¿Qué escala de tiempo y qué escala de espacio se pueden usar?

Existe una relación entre la escala de espacio y la escala de tiempo. No es posible usar datos de grandes subregiones o subcuencas en un modelo y una escala de tiempo muy pequeña. La escala de espacio depende de los datos utilizados en el modelo. Cuando los datos tienen una pequeña escala, por ejemplo, 1:100,000, no es factible desarrollar un modelo con una escala de 1:10,000. Lo más importante para la selección de la escala es el objetivo del modelo. Por ejemplo, ¿se necesitan los reportes de las descargas mensuales para planificar la campaña, o los datos de las descargas diarias u horarias para la gestión del agua? Si se desea un resultado diario, la escala de espacio tiene que ser pequeña y se requiere muchos datos.

Para elaborar un modelo en computadora es preciso contar con un programa o un idioma en el que éste se pueda desarrollar. Por ejemplo, se puede implementar un modelo en EXCEL o QUATRO PRO cuando éste no es muy complejo y no requiere muchos datos espaciales. También es factible desarrollar un modelo que necesite muchos mapas y datos espaciales, pero para esto se requiere un SIG (Sistema de Información Geográfica) con programas

como, por ejemplo, ARC-INFO, IDRISI o PCRAS-TER; este último es especial para modelos dinámicos como, por ejemplo, la corriente de agua entre diferentes lugares.

Si ningún programa de computadora es adecuado para el modelo, es posible elaborarlo en idioma PASCAL, FORTRAN u otros, pero ello demanda mucho tiempo. Cuando se sabe qué modelo se quiere, se puede elegir el programa o el idioma.

Después de elegir y desarrollar un modelo, es necesario calibrarlo y evaluarlo con datos medidos anteriormente.

1. MODELOS HIDROLÓGICOS EN GENERAL

Para la hidrología hay dos tipos de modelos: el conceptual y el modelo de caja negra que es empírico (ver Figura 1 y recuadro de la pág. 23). También hay muchos modelos que son una mezcla de ambos.

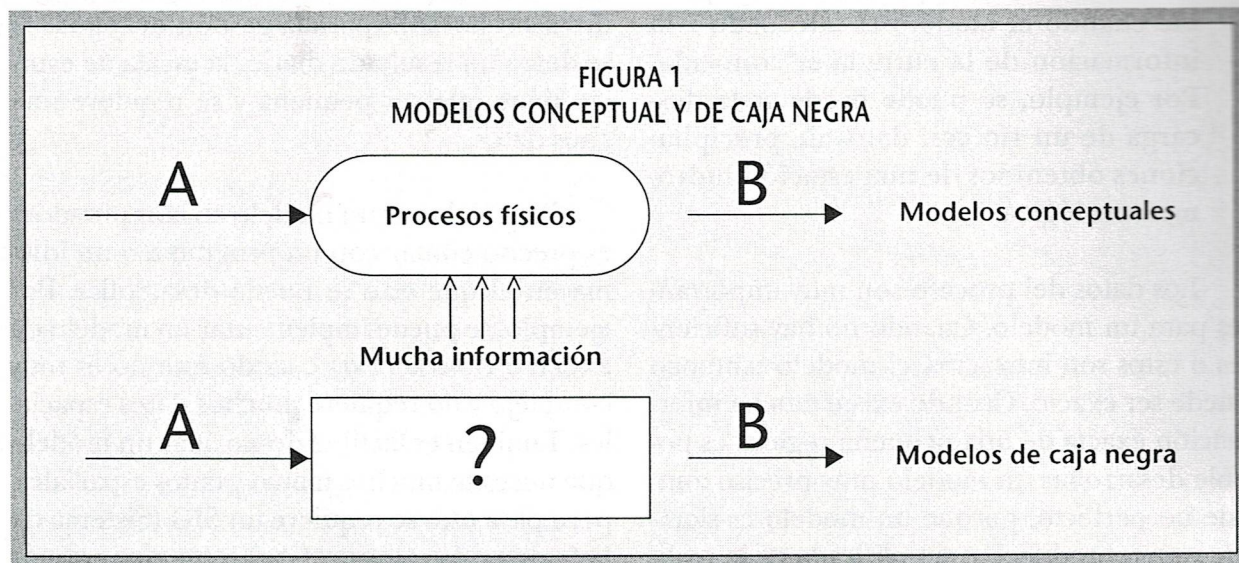
Un modelo conceptual describe los diferentes procesos. Por ejemplo, un modelo hidrológico describe la precipitación, infiltración y la corriente de agua en el subsuelo, en los ríos y quebradas, el escurrimiento, etcétera. Para este tipo de modelo es necesario conocer y entender los procesos. Una de sus ventajas es

que cuando la realidad cambia es fácil hacer cambios en el modelo porque se conocen los procesos en una región. Su desventaja es que requiere muchos datos como, por ejemplo, la ocupación de suelos, mapas de tipos de suelos, de pendientes, topográficos, factures de evapotranspiración de diferentes cultivos, etcétera.

Para el modelo de caja negra los procesos no son relevantes sino sólo los resultados. Por ejemplo, un modelo que pronostica la descarga con base en la precipitación necesita datos de precipitaciones y descargas de muchas horas, días, meses o años para calcular una relación entre ambos. Con esta relación es posible predecir la descarga basándose en precipitaciones medidas. Una desventaja es que cuando la realidad cambia –por ejemplo, la ocupación de suelos (incremento del área de bosque o irrigación)– el modelo deja de funcionar y se necesita otro totalmente nuevo. Una desventaja adicional es que es difícil localizar los errores, lo que los hace un poco peligrosos. Pero una ventaja es que no es indispensable tener datos sobre todos los procesos.

A. El sistema hidrológico

Para construir un modelo conceptual es importante conocer un poco de hidrología. El siste-



ma hidrológico consiste en los siguientes procesos (Figura 2):

1. Precipitación.
2. Evaporación.
3. Infiltración en la zona radical.
4. Escurrimiento.
5. Percolación de la zona radical al agua de subsuelo.
6. Corriente de agua en el subsuelo.
7. Drenaje e infiltración de ríos y canales.
8. Acumulación y descongelamiento de nieve.

El agua entra en la región en forma de lluvia. Una parte de ésta se infiltra en la zona radical y la que no puede infiltrarse corre sobre la superficie hacia los ríos y quebradas: (escurrimiento). La cantidad de agua que puede infiltrarse depende del tipo de suelo, la pendiente, el manejo de la tierra, la cantidad de piedras, la profundidad del suelo y la existencia de capas impermeables. El agua de la zona radical se puede evaporar o percolarse al agua de subsuelo.

La lluvia se infiltra en el suelo; una porción es absorbida por las plantas, las que la usan para transpirar, y la otra se evapora del suelo directamente. Cuando hay suficiente agua en

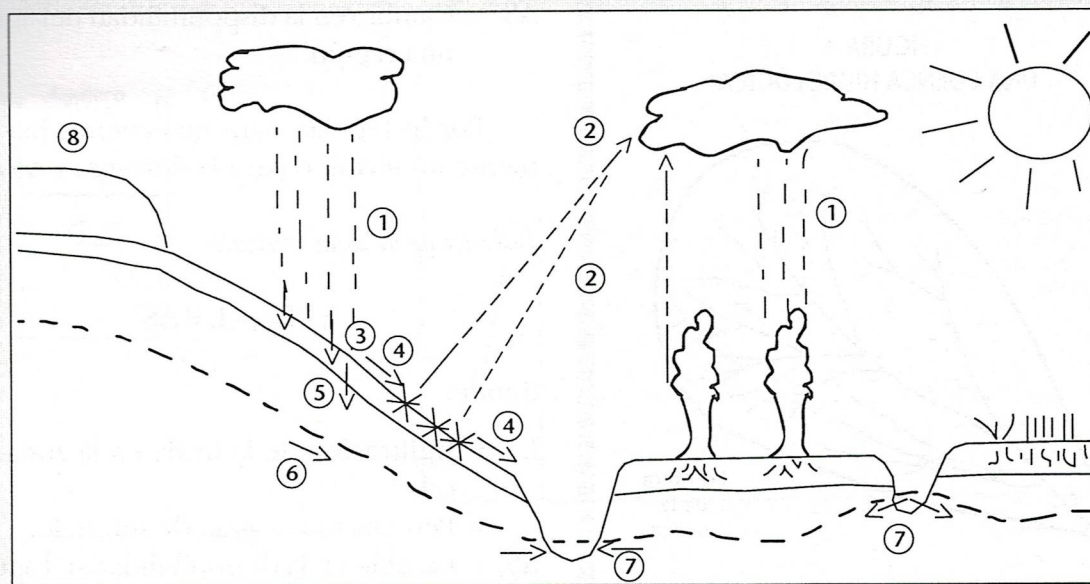
la zona radical una parte se percola hacia el agua del subsuelo.

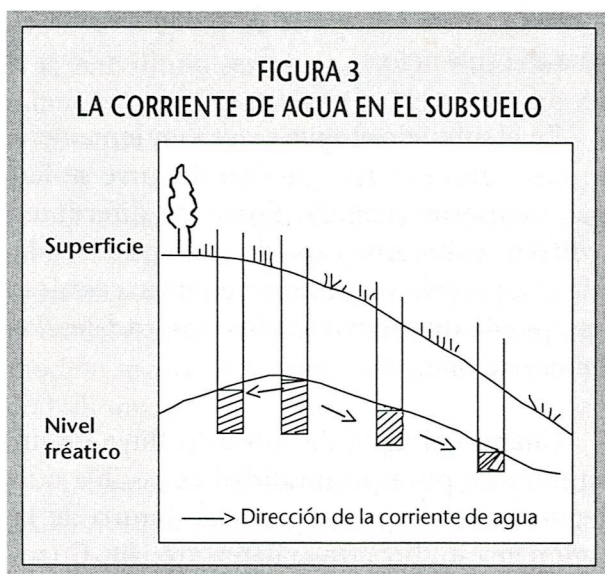
En el subsuelo el agua corre muy lentamente. Las capas por las que ésta discurre se llaman acuíferos (napas). Entre los diferentes acuíferos existe una capa de suspensión en la que el agua solamente corre en forma vertical y no puede dirigirse hacia los ríos, canales, lagunas o al mar.

Cuando el agua de subsuelo fluye de un acuífero de poca profundidad es posible que llegue hasta el agua superficial dentro de la región de estudio; esto se llama drenaje. Cuando el agua corre dentro de un acuífero de gran profundidad, sale de la región de estudio como agua de subsuelo. Si el nivel estático del acuífero es más bajo que el nivel estático del río o canal, el agua del río o canal se infiltra en el subsuelo. El agua siempre corre de un nivel estático alto a un nivel estático bajo (Figura 3). La corriente de agua en el subsuelo depende de la geología de la región.

El proceso de acumulación y descongelamiento es muy importante en otras regiones pero no para el caso de la cuenca Chancay-Lambayeque. En esas regiones las precipitacio-

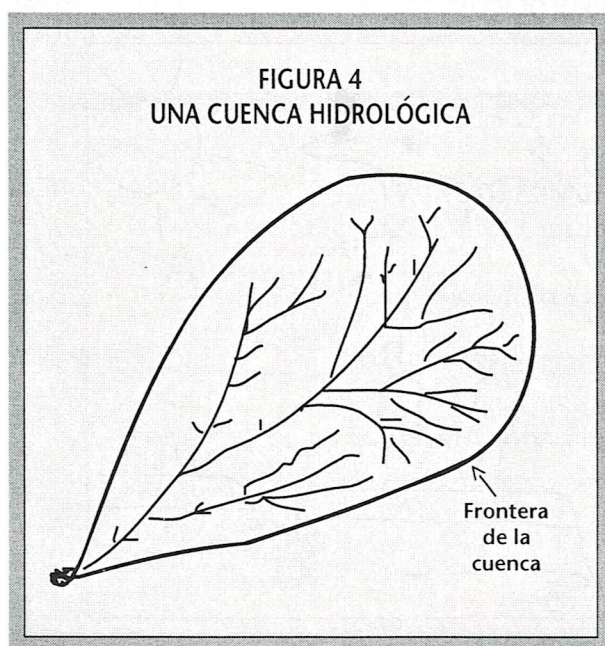
FIGURA 2
LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS





nes de nieve son considerables, se acumulan en el invierno y en la primavera la nieve se descongela y las descargas de los ríos pueden ser enormes.

Los procesos hidrológicos pueden ser estudiados en diferentes niveles: a nivel de una parcela, una laguna o una cuenca hidrológica. Una cuenca es una región donde toda el agua sale de ésta por una punta (Figura 4). Una cuenca es una base apropiada para los estudios hidrológicos porque es fácil hacer un balance del agua que contiene. A veces es necesario dividir la cuenca en subcuencas.



Para el cálculo de los diferentes procesos hidrológicos es necesario realizar un balance de agua por un período determinado (un mes, una hora o un año). Con un balance es posible controlar si el modelo no tiene errores y si no pierde o produce agua. La masa que entra en un sistema debe ser igual a la masa que sale de éste, más la diferencia entre la cantidad de agua que estaba en el sistema antes y después de un período determinado:

$$\text{Entrar} = \text{Salir} + \text{Cambio en la cantidad de agua en un sistema}$$

Es factible hacer un balance de agua para una región, una cuenca completa o para un subsistema; por ejemplo: un balance del agua superficial, de la zona radical o del agua de subsuelo, etcétera.

Balance del agua para una región:

$$P - Q_r - Q_s - E_{\text{act}} - R = \Delta S$$

donde:

P = Precipitación.

Q_r = Descarga de ríos.

Q_s = Descarga por el subsuelo.

E_{act} = Evapotranspiración actual.

R = Otros (agua extraída de ríos o del subsuelo para uso poblacional, industrial u otros).

ΔS = Cambio en la disponibilidad del agua en una región.

Por lo regular, para una cuenca hay solamente un término para la descarga y no dos.

Balance de la zona radical:

$$I_r - E_{\text{act}} - I_s = \Delta S_r$$

donde:

I_r = Infiltración de la lluvia en la zona radical.

I_s = Percolación al agua de subsuelo.

ΔS_r = Cambio en la disponibilidad del agua en la zona radical.

La descripción de los procesos en un modelo se muestra en el Anexo 10.

B. Modelos sin procesos hidrológicos

Los modelos de caja negra no contienen procesos hidrológicos. El modelo de caja negra más simple es una relación entre dos series de datos, por ejemplo, serie «x» y serie «y»: $y = 6x + 3$. Para ver si existe una relación se puede calcular la correlación entre dos series de datos y dibujar un gráfico con datos en los ejes «x» e «y». Cuando los valores de los datos formen una línea recta, la relación entre ellos será de la forma: $Y = ax + f$. La correlación y regresión lineal se trata en el acápite 2, B de este capítulo y en el Anexo 10.

También es muy famoso el modelo de «cubo agujero» (Figura 5). Éste considera a la cuenca como un cubo con un agujero en la parte inferior. En el cubo hay agua y puede ingresar más por efecto de las lluvias. La lluvia cae al interior de todo el cubo, por ende, un supuesto de este modelo es que la lluvia cae en toda la cuenca distribuyéndose en forma

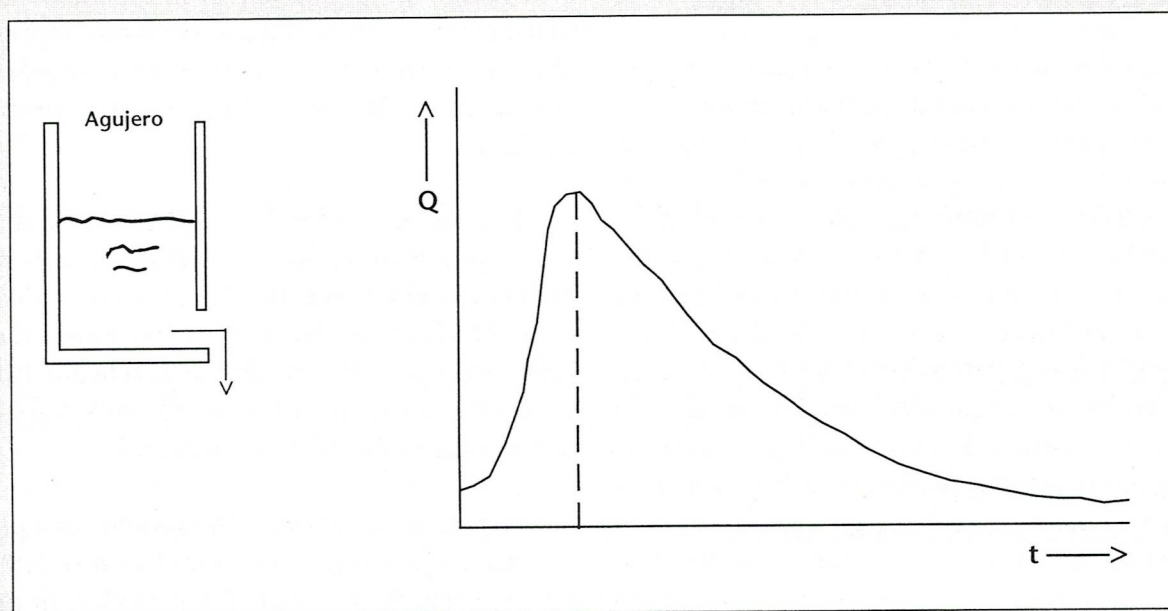
homogénea. En realidad este supuesto solamente tiene valor en cuencas pequeñas de relieve plano. La lluvia no cae en forma homogénea en la cuenca Chancay-Lambayeque pues depende de la altitud. Se tiene que dividir la cuenca en subcuencas y conectar los diferentes cubos como una cascada. Para todas las subcuencas se necesitan datos de las descargas y las precipitaciones.

El agua sale del cubo por el agujero. Cuando hay mucha agua, la presión en el agujero es grande y ésta sale rápidamente. Cuando hay poca agua, la velocidad es menor. En la realidad sucede algo similar: después de la lluvia las descargas son muy altas y disminuyen con el tiempo.

Las fórmulas de este modelo son complicadas y se pueden encontrar en la literatura sobre hidrología e hidrogramas unitarios.

El sistema de el valle que nos ocupa es demasiado complejo, las descargas de las subcuencas no son medidas y la lluvia no es homogénea, por lo que no es posible aplicar el modelo de «cubo agujero».

FIGURA 5
UN CUBO AGUJERO Y EL HISTOGRAMA DE LA DESCARGA DESPUÉS DE LA LLUVIA



2. UTILIDAD DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS PARA HACER PRONÓSTICOS O AYUDAR EN LA ELABORACIÓN DEL PCR

A. Modelos conceptuales

Para aplicar los modelos conceptuales es necesario conocer los datos de precipitaciones, porque ellas constituyen la descarga. Se puede pronosticar la descarga una vez que la lluvia ha caído. El plazo al cual se puede pronosticar la descarga depende del tiempo de concentración. El tiempo de concentración (T_c) de una cuenca es igual al tiempo empleado por una gota de agua que cae en el punto hidrológicamente más alejado de la cuenca para llegar a la salida de ésta.

En este estudio se quiere pronosticar la descarga de la Bocatoma Raca Rumi. Para calcular cuál es el tiempo aproximado que demora la lluvia para arribar a la Bocatoma se ha calculado el tiempo de concentración (Anexo 11). Según estos cálculos la lluvia llega en unos días a la Bocatoma Raca Rumi, por eso es necesario conocer la cantidad de lluvia del próximo año si se quiere predecir su descarga para la planificación de la campaña agrícola. Entonces se tiene que predecir la lluvia, pero predecir las lluvias del próximo año no es posible y, por consiguiente, tampoco su descarga.

Las descargas fluctúan con rapidez, lo que significa que reaccionan en forma inmediata a la lluvia y que las descargas altas y rápidas son relativamente más importantes que las descargas básicas. Las descargas altas se presentan después de la lluvia, mientras las descargas básicas o permanentes se presentan siempre, ya sea en épocas de estiaje o con lluvia. Las descargas básicas pueden disminuir hasta $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, pero las descargas altas pueden ser de $170 \text{ m}^3/\text{s}$. Pronosticar la descarga básica no tiene mayor importancia, porque constituye sólo una pequeña parte de la descarga total en la cuenca. Si se pretende pronosticar la descarga se tiene que incluir la descarga alta y para ello es necesario contar con datos de las precipitaciones;

entonces, no se puede pronosticar la descarga a largo plazo.

Tampoco es posible calcular probabilidades de las precipitaciones para los diferentes meses y usarlas como información de entrada del modelo conceptual, porque la diferencia de las precipitaciones que se presentan entre diversos años y lugares es muy grande y la exactitud de las probabilidades es muy baja. Lo recomendable es calcular probabilidades de descargas directamente sin usar modelos, en vez de calcular probabilidades de lluvia y después estimar las descargas con modelos. Con la información proporcionada vía satélite se puede predecir la precipitación unos días antes de que caiga, pero no con un año de anticipación.

La operación del sistema de riego del valle necesita la predicción de la descarga diaria. Pero hacerlo con modelos es difícil porque los pronósticos diarios de las descargas son más inexactos que los mensuales. Con un modelo conceptual no es posible elaborar un buen pronóstico diario. La escala de los datos disponibles es inmensa y la geología de esta cuenca es muy compleja, lo que es causa de errores demasiado grandes en los pronósticos de las descargas diarias.

Debido a la complejidad geológica del valle los modelos no pueden ser muy exactos. Los datos con que se cuenta son bastante imprecisos o no existen, por lo que no es factible desarrollar un modelo que dé cuenta de la descarga diaria.

Es posible usar los datos del Valle Chancay-Lambayeque contenidos en IDRISI (programa de SIG empleado por IMAR) para los modelos conceptuales o modelos cuyos procesos son en parte conceptuales y en parte de caja negra. Pero el problema es que la fuente de estos datos es desconocida y también su exactitud.

Se puede desarrollar un modelo para pronosticar las descargas, por ejemplo, en ARC-INFO o PC-RASTER. Es muy difícil desarrollar un modelo en IDRISI, porque al no contar éste con

un componente dinámico no es posible enviar agua de una pequeña región a otra.

Para calcular los efectos de los proyectos se pueden usar modelos espaciales. Estos modelos conceptuales necesitan muchos datos (sobre pendiente, ocupación de suelo, geología, suelos, ubicación de quebradas y ríos, descargas de muchos años, precipitaciones y evaporaciones, etcétera) y su exactitud depende de que los datos también lo sean. El desarrollo de estos modelos demora mucho tiempo, pero son viables.

B. Modelos de caja negra basados en las relaciones entre descargas de diferentes meses

Se investiga las relaciones entre la descarga de un mes (p.e. octubre) y unos meses (p.e. de agosto a noviembre) y la suma de la descarga del año. Si hay una relación fuerte es posible pronosticar la descarga de un año basándose en la descarga de un mes o unos meses. Para determinar si existe una relación se tiene que calcular la correlación. Una correlación es una medida que muestra si existe una relación entre dos series de datos, en este caso entre la descarga de un mes o de unos meses y la descarga de un año. El Cuadro 5 muestra estas correlaciones.

Veamos un ejemplo: la Corr. 2 de octubre es la correlación entre la suma de la descarga de agosto hasta octubre y la suma de un año (-0.0875).

Si la correlación es casi 1, existe una relación fuerte, entonces después de marzo se puede pronosticar aproximadamente la suma de la descarga de un año. Después de febrero la relación existe, pero no es muy fuerte.

Con base en esta estadística no es posible predecir la suma de la descarga del año agrícola antes de fines de febrero, que es la época en que la mayor cantidad de lluvia ya ha caído. En tales circunstancias el pronóstico ya estaría demasiado atrasado y no tendría ningún valor para la campaña agrícola. En conclusión: no es posible pronosticar la descarga de un año basándose en las relaciones entre las descargas de diferentes meses.

De las correlaciones se puede colegir además que los ajustes del PCR usados en el pasado no son exactos. En éstos se establece que cuando la descarga de octubre es mayor a 70 mmc, se considera una cantidad de agua 100 mmc mayor al pronóstico de la DGAS para la planificación de la campaña. La descarga de octubre no tiene ninguna relación con la descarga total del año. Asimismo, los ajustes después de enero y febrero no se basan en estadísticas porque no existe una buena relación entre la descarga desde agosto hasta enero o la descarga de febrero y la suma de descargas de un año.

Las descargas de los diferentes meses no tienen una relación fuerte con la suma de las descargas de un año, sin embargo, la descarga de los meses en los que cae la mayor cantidad

CUADRO 5
CORRELACIONES ENTRE LA DESCARGA DE UN MES O UNOS MESES Y LA SUMA DE DESCARGAS DE UN AÑO*

Mes	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
Corr. 1	-0.0826	0.1510	-0.1612	0.3735	0.1817	0.4416	0.8661	0.8759	0.7000	0.6087	0.3320	0.5108
Corr. 2	-0.0717	-0.0475	-0.0875	0.2631	0.2321	0.5019	0.7077	0.9119	0.9854	0.9970	0.9998	1.0000

Corr. 1: Correlación entre la descarga de un mes y la suma de descargas de un año.

Corr. 2: Correlación entre la descarga acumulativa hasta un mes y la descarga de un año

* Los cálculos se describen en el Anexo 10.

de lluvia tiene una correlación más alta con la suma de descargas de un año. De lo expuesto se puede concluir que la descarga básica relativa de la cuenca es insignificante y las descargas pico son importantes.

C. El modelo CHANLAMB

Las deficiencias de agua y el desorden en la operación del sistema de irrigación contribuyen a una planificación compleja e irregular de la campaña agrícola. Por eso en 1988-1989 se realizó una investigación para el mejoramiento de la operación del Sistema Tinajones, la cual priorizó la ejecución de un estudio para crear un Sistema computarizado de Planificación de Cultivo y Riego o modelo SIPLACOM CHANLAMB en el área de influencia del Valle Chancay-Lambayeque (Hatzius 1990).

Este sistema ha sido creado por encargo de la Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial de Irrigación Tinajones (DEPTI) en el marco de un subcontrato del Centro de Investigación para el Desarrollo Internacional de la Agricultura (FIA) con la SALZGITTER Consult, GmbH.

CHANLAMB es un modelo elaborado para calcular el PCR óptimo a nivel del valle. Este modelo utiliza datos de costos de producción (insumos, horas-máquina, jornales, rendimientos, precios de venta, etcétera), información de los cultivos que se siembran en el valle y sobre la disponibilidad del recurso hídrico y el requerimiento de los cultivos, así como superficies de siembra y cosecha.

El modelo pretende ser un instrumento para mejorar el riego en el valle y contribuir a la transparencia y racionalidad en la planificación de los cultivos a la vez que facilitar la programación y ajustes de corrección durante la ejecución de la campaña agrícola, tanto a la ATDRCH-L como a la JUDRCH-L, asegurando así un permanente funcionamiento y actualización (Hatzius 1991).

Este modelo calcula con datos fijos. Así, p.e., considera que una hectárea de arroz necesita 14,000 m³/año. En realidad, se puede cultivar variedades de arroz que requieren menos agua o cultivar más hectáreas pero tener menos cosecha por usar una cantidad menor de agua por hectárea. Lo mismo es válido para otros cultivos.

El modelo CHANLAMB nunca se ha usado, en primer lugar porque los datos económicos que contiene son inexactos e incorrectos. Ello se debe a que la información proporcionada por los agricultores durante su elaboración fue incompleta y poco precisa. Otro de los motivos por los que el modelo no funciona es que calcula una planificación óptima para el valle, la cual no necesariamente lo es para los agricultores individuales.

Según los resultados del modelo CHANLAMB, solamente es posible cultivar entre 10,000 a 20,000 hectáreas de arroz, pero en la práctica se cultivan muchas más. Si el Comité de Coordinación reduce la superficie de siembra de arroz hasta estas cifras, empezarían los reclamos de los usuarios. La JUDRCH-L no puede imponer a sus usuarios una reducción de tal magnitud. Según este modelo también los otros cultivos deben disminuir sus áreas.

El modelo CHANLAMB se desarrolló sin tener en cuenta la opinión de los usuarios y como éstos no estuvieron de acuerdo con él no proporcionaron buena información para su implementación y no quisieron aplicarlo. Ahora el modelo sólo se puede emplear para investigaciones y evaluaciones de la campaña agrícola, pero no para la planificación. Quizá sea posible mejorarlo con una mayor cantidad de datos, los mismos que deben ser más exactos, pero si los usuarios no están interesados en él nunca será útil.

3. CONCLUSIONES

No es posible pronosticar la descarga de un año, lo cual es necesario para la planificación de la campaña agrícola:

- ❑ Para pronosticar la descarga anual con modelos conceptuales y con el modelo de «cubo agujero» se necesita saber cuánta lluvia va a caer en el año, pero esto no se conoce. Con información vía satélite se puede pronosticar la lluvia solamente con unos días de anticipación y no un año antes.
- ❑ Con las relaciones entre las descargas de diferentes meses y la suma de las descargas de un año no es posible predecir la suma de la descarga anual antes de finales de febrero. Después de febrero la mayor cantidad de lluvia ya ha caído y el pronóstico es demasiado tardío y carece de valor para la campaña agrícola.
- ❑ Es imprescindible medir las descargas y precipitaciones de todas las subcuencas con pronósticos diarios utilizando un modelo para mejorar la operación del Sistema Tinajones. Actualmente estos datos de medición no existen, por eso no es factible desarrollar dicho modelo.
- ❑ Es posible elaborar un modelo con los datos del valle contenidos en IDRISI para calcular los efectos de los proyectos, pero un problema es que la fuente y la exactitud de los datos no son conocidas. Otro problema es la complejidad de la geología, razón por la cual los modelos no pueden ser muy exactos.
- ❑ El modelo CHANLAMB para desarrollar el PCR no tiene valor en la planificación de la campaña agrícola y solamente se puede usar en investigaciones.

1. MODELO PARA CALCULAR DIFERENTES OPCIONES EN EL MANEJO DEL RESERVORIO

El manejo del reservorio tiene gran relevancia para la campaña agrícola. A fin de determinar con facilidad las diferentes opciones de manejo del mismo se ha construido un pequeño «modelo». Éste necesita como información de insumo las áreas de cultivo de arroz, caña de azúcar, algodón y maíz, además del volumen inicial de agua del reservorio. Sus resultados determinan el volumen de cada mes. El modelo en cuestión también calcula la demanda de los cultivos mencionados y contiene además la descarga del río.

El modelo consiste en una hoja de cálculo del programa EXCEL (ver Cuadro 6). Esta hoja está dividida en cuatro rubros:

- Variables.
- Cálculos de la demanda.
- Descarga del río con diferentes persistencias mensuales y descargas presentadas en las campañas 1996-1997 y 1995-1996.
- Resultados.

En el rubro VARIABLES se ingresan los datos de las áreas de diferentes cultivos (caña de azúcar, algodón, maíz y arroz) y del volumen inicial del reservorio. Aquí también se muestran los datos de disponibilidad de agua de recuperación.

En el rubro CÁLCULOS DE LA DEMANDA se estima la demanda de agua que resulta de multiplicar el área de un cultivo por el coeficiente de riego de este cultivo por hectárea (los coeficientes de riego se describen en el Anexo 8). Se establece la demanda de agua para arroz, caña de azúcar, algodón, maíz y otros cultivos

(menestras, frutales, etcétera) y usos no agrícolas. Si en el rubro VARIABLES cambia el área de arroz o de otro cultivo, automáticamente la demanda cambia también en el rubro CÁLCULOS DE LA DEMANDA. La demanda de otros cultivos es fija y no está calculada en el modelo, pero sí en la hoja 2 del mismo archivo con los datos de aprobación del PCR para el año 1996-1997 (Anexo 12). La demanda de los usos industrial y poblacional también está incluida en los cálculos del modelo. La fuente de estos datos es la ATDRCH-L.

Se ha considerado la campaña 1996-1997 porque es la más reciente. Al inicio de la misma el volumen en el reservorio era de 214 mmc, que es mayor a lo normal, por eso es muy probable que el número de hectáreas aprobadas sea superior al que se autoriza regularmente.

El tercer rubro (DESCARGA DEL RÍO...) reporta la descarga probable o real del río. La oferta total consiste en la suma de la descarga más la recuperación. La disponibilidad de agua del subsuelo no está directamente incluida en el cálculo, aunque sí en forma indirecta al considerarse que los azucareros extraen 6,000 m³ de agua de subsuelo por ha/año y usan 14,000 m³ de agua superficial al año. Este supuesto es acertado porque en la práctica son principalmente ellos quienes usan el agua del subsuelo. La ATDRCH-L también determina su balance de agua por campaña con este supuesto.

Todos los datos usados en las variantes para las ofertas se encuentran en la hoja de cálculo 3. Cualquier usuario del modelo puede ingresar también información de una descarga de río.

El cuarto rubro presenta los RESULTADOS del modelo: volumen inicial del reservorio de cada mes y la diferencia entre la oferta y la de-

CUADRO 6
MODELO PARA CALCULAR LAS HECTÁREAS DE ARROZ, CAÑA DE AZÚCAR O ALGODÓN
LA VARIANTE A: LA CAMPAÑA 1996-1997

1. VARIABLES

Cultivo	Hectárea		
Arroz	25,000	Reservorio inicial (mmc)	213.8
Caña	31,294	Recuperación	5,797
Algodón	8,000		
Maíz	7,100		
Otros**	12,545*		
Total	83,939		

* Sin corrección directa con los cálculos.

** Los cálculos están en la hoja 2.

2. CÁLCULOS DE LA DEMANDA (mmc)

Mes	ARROZ		CAÑA		ALGODÓN		MAÍZ		Otros cultivos	Población industrial	D total mm³/mes
	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D			
Ago.	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	3.64	5.62	9.3
Set.	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	3.10	5.44	8.5
Oct.	0	0.0	0	0.0	2.5	20	0	0	13.04	5.62	38.7
Nov.	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	4.91	5.44	10.4
Dic.	0.8	20.0	0.8	25.0	1.6	12.8	0	0	8.66	5.62	72.1
Ene.	3.1	77.5	3	93.9	1.4	11.2	0	0	5.68	6.43	194.7
Feb.	2.2	55.0	2.2	68.8	1.3	10.4	0	0	5.66	6.22	146.1
Mar.	3	75.0	3	93.9	0	0	2.9	20.6	4.47	6.43	200.4
Abr.	2.1	52.5	2	62.6	0	0	0	0.0	4.45	5.44	125.0
May.	0.8	20.0	0.8	25.0	0	0	1.5	10.7	11.26	5.62	72.6
Jun.	0	0.0	0	0.0	0	0	1.3	9.2	3.52	5.44	18.2
Jul.	0	0.0	0	0.0	0	0	1.1	7.8	5.86	5.62	19.3
Suma	12	300.0	11.8	369.3	6.8	54.4	6.8	48.3	74.25	68.94	915.1

Coef. = Coeficiente de riego en miles de m³/ha/mes.

D = Demanda por cultivo (mmc/mes).

(Con pérdidas la demanda = 1,144)

3. LA DESCARGA DE RÍO CON DIFERENTES PERSISTENCIAS MENSUALES Y LA DESCARGA DE LA CAMPAÑA 1996-1997 (mmc/mes)

Mes	50%	75%	90%	Mes	96-97
Ago.	20.9	14.8	12.0	Ago.	11.9
Set.	21.7	13.0	9.6	Set.	13.7
Oct.	47.5	26.0	18.2	Oct.	65.0
Nov.	50.9	28.4	20.1	Nov.	60.0
Dic.	54.1	30.3	21.5	Dic.	17.6
Ene.	70.2	37.9	26.2	Ene.	15.1
Feb.	102.5	58.0	41.3	Feb.	140.7
Mar.	151.5	91.5	67.7	Mar.	86.7
Abr.	158.3	107.5	85.3	Abr.	84.2
May.	100.4	68.5	54.4	May.	48.3
Jun.	50.2	34.6	27.7	Jun.	25.2
Jul.	29.5	20.8	16.9	Jul.	13.2
Total	950.8	711.8	598.3	Suma	581.5
Suma	858.2	532.0	401.8		

4. RESULTADOS

Pers.	50%			75%			90%		Realidad		
	V	O-D	Acum.	V	O-D	Acum.	V	O-D	V	O-D	Acum.
Ago.	213.8	15.1	15.1	213.8	9.0	9.0	213.8	6.3	213.8	6.1	6.1
Set.	228.9	16.9	32.0	222.8	8.1	17.1	220.1	4.7	219.9	8.8	14.9
Oct.	245.8	5.0	36.9	230.9	-16.6	0.6	224.8	-24.3	228.7	22.5	37.4
Nov.	250.7	43.8	80.7	214.4	21.2	21.8	200.4	12.9	251.2	52.8	90.3
Dic.	294.5	-30.3	50.4	235.6	-54.0	-32.2	213.4	-62.9	304.1	-66.8	23.5
Ene.	264.2	-167.3	-116.9	181.6	-199.6	-231.8	150.5	-211.3	237.3	-222.5	-199.0
Feb.	96.9	-74.4	-191.3	-18.05	-118.8	-350.7	-60.8	-135.6	14.8	-36.2	-235.2
Mar.	22.5	-93.2	-284.5	-136.9	-153.2	-503.9	-196	-177.0	-21.4	-158.0	-393.2
Abr.	-70.7	7.8	-276.6	-290.1	-42.9	-546.8	-373	-65.1	-179.4	-66.2	-459.4
May.	-62.8	15.5	-261.1	-333	-16.4	-563.2	-439	-30.5	-245.6	-36.6	-496.0
Jun.	-47.3	33.3	-227.8	-349.4	17.7	-545.5	-469	10.8	-282.2	8.3	-487.7
Jul.	-14.0	11.2	-216.6	-331.7	2.5	-543.1	-458	-1.5	-273.9	-5.1	-492.8
Suma	-2.8			-329.3			-460		-279.0		

Pers. = Persistencia mensual (%). V = Volumen en reservorio al inicio del mes (mmc).

O-D = Oferta menos demanda (mmc/mes) (incluidas las pérdidas). Acc = O-D acumulado.

munda mensual de agua. La demanda se multiplicará por el factor 1.25 porque el 25% de agua se pierde.

El volumen mensual de agua del reservorio se calcula como:

$$V_{\text{reservorio}} = V_{\text{inicial del último mes}} - (\text{demanda total} \times 1.25) + \text{oferta del río} + \text{la recuperación}$$

El modelo es muy simple y no incorpora todas las dificultades que están presentes en la realidad. Por ejemplo, en el valle se siembran dos tipos de maíz con diferentes coeficientes de riego -3,800 ha de maíz amarillo D y 360 ha de maíz blanco aproximadamente- y en el modelo se han colocado 4,200 ha de maíz con los mismos coeficientes de riego que los del maíz amarillo D. Si el año se presenta muy seco, los agricultores siembran otros cultivos en lugar del arroz. En el modelo presentado la demanda de otros cultivos es constante.

El modelo es fácil de cambiar si se quiere ingresar otro tipo de cultivo u otros coeficientes de riego. Toda persona que entienda el programa EXCEL puede hacerlo.

Los datos básicos del modelo son los siguientes:

- Áreas de cultivo (FUENTE: Hectáreas aprobadas en el PCR original de 1996-1997) (Anexo 8, Cuadro 2):

• Caña de azúcar:	31,294 ha
• Algodón:	8,000 ha
• Maíz:	7,000 ha
• Otros:	12,545 ha

Nota: El área de arroz no está mencionada porque es diferente en cada variante en el modelo; por eso no es un dato básico.

- Recuperación: 5,797 mmc/mes (FUENTE: ATDRCH-L).

- Demanda industrial y de población (Capítulo II).
- Coeficientes de riego (Cuadro 6 y Anexo 8, Cuadro 2).
- La oferta consiste en las probabilidades corregidas (Capítulo II y Anexo 4) calculadas con los datos desde 1927 hasta la actualidad. Se han usado las probabilidades con una persistencia mensual y anual de 50, 60, 75 y 90%, además de las descargas reales de 1995-1996 y 1996-1997 en dos variantes.
- Las pérdidas consideradas son del 25%. En los datos del volumen del reservorio calculados en el modelo, la demanda se multiplica por el factor 1.25. Al cambiar este factor varía el porcentaje de pérdida.

2. MANEJO DEL RESERVORIO

El manejo óptimo de un reservorio se orienta a que en la mayoría de años haya suficiente agua para una buena y equitativa producción agrícola. Se trató de calcular el manejo ideal sobre la base de diferentes ofertas del río, distintas áreas de arroz y diversos coeficientes de riego. En este acápite se tratan las campañas 1996-1997 y 1995-1996 para explicar cómo se realiza el manejo del reservorio en la actualidad. Esto también es útil para controlar si funciona bien el pequeño modelo.

En la mayoría de variantes que presentamos en los dos siguientes puntos se han usado los datos básicos mencionados en el acápite precedente, por lo que no es necesario volver a mencionarlos (sólo se detallan los otros datos empleados).

Las variantes usadas son:

- A Simulación de la realidad de 1996-1997.
- B Simulación de la realidad de 1995-1996.
- C Igual que la variante B, pero se considera 60% de la demanda de agua total de la caña (normalmente se considera 70% de esta demanda porque 30% de la demanda total se extrae del subsuelo).

- D Datos de la variante A oferta de agua; consiste en la suma del «pronóstico» de la DGAS.
- E Datos básicos, oferta basada en diferentes probabilidades.
- F Igual que E, pero el módulo de arroz es de 9,000 m³/año y el de caña de 10,000 m³/año (normalmente estos módulos son de 12,000 y 11,800 m³/año respectivamente)

A. Evaluación del modelo considerando los datos de 1995-1996 y 1996-1997

En la variante A se han usado datos reales de la campaña 1996-1997.

Los resultados de la variante A (Cuadro 7) muestran claramente que el Comité de Coordinación supuso que vendría un año húmedo porque hasta enero la demanda calculada con los datos de la ATDRCH-L (columna 3 del Cuadro) era menor que la demanda medida (columna 4); la demanda medida es el circulante en el valle.

En enero empezaron los problemas con el déficit de agua, se redujeron las dotaciones y la demanda medida disminuyó por debajo de la demanda estimada en el modelo. Durante los primeros meses se entregó un volumen excesivo de agua —más de lo necesario según los datos—, por eso el volumen en el reservorio disminuyó rápidamente. Si se hubieran utilizado los datos de la ATDRCH-L para calcular la distribución del agua como en el modelo, el reservorio se hubiera vaciado en marzo y no en diciembre, pero no se pudo evitar un reservorio vacío durante esa campaña.

La variante B usa los datos reales de la campaña 1995-1996. En el año agrícola 1995-1996 había suficiente agua y la demanda aprobada fue de 1,187 mmc, pero se emplearon solamente 958 mmc (variante B, Cuadro 8), cantidad mucho menor que la aprobada; entonces los cálculos de la demanda fueron incorrectos.

Como el volumen en el reservorio era muy pequeño, la campaña se empezó con cautela.

CUADRO 7
RESULTADOS DE LA VARIANTE A (CAMPAÑA 1996-1997)

Mes	Volumen		Demanda		Descarga	
	Cal. 96-97	Med. 96-97	Cal. 96-97	Med. 96-97	Med. 96-97	Cal. DGAS
Ago.	213.8	213.8	11.6	31.1	11.9	14.2
Set.	219.9	192.2	10.7	25.3	13.7	13.0
Oct.	228.7	174.1	48.3	43.5	65.0	23.7
Nov.	251.2	188.9	12.9	85.3	60.0	29.9
Dic.	304.1	158.2	90.1	106.7	17.6	29.1
Ene.	237.3	66.3	243.4	62.5	15.1	35.7
Feb.	14.8	16.3	182.7	110.5	140.7	52.4
Mar.	-21.4	44.8	250.5	108.4	86.7	87.1
Abr.	-179.4	14.5	156.2	66.0	84.2	95.2
May.	-245.6	30.7	90.7	48.1	48.3	62.2
Jun.	-282.2	27.8	22.7	24.0	25.2	31.9
Jul.	-273.9		24.1		13.2	19.4
Total			1143.9		581.5	493.8

Cal.: Calculado de la realidad (Cuadro 6).

Med.: Medido (Fuente: ETECOM S.A.).

DGAS: Probabilidad de la descarga calculada según el método de la DGAS con una persistencia del 75% mensual.

CUADRO 8
LOS RESULTADOS DE LA VARIANTE B (CAMPAÑA 1995-1996)

Mes	Volumen		Demanda		Descarga	
	Cal. 95-96	Med. 95-96	Cal. 95-96	Med. 95-96	Cal. DGAS 75%	Med. 95-96
Ago.	35.0	35.0	12.9	19.8	14.2	11.3
Set.	39.2	24.3	12.1	13.5	13.0	12.9
Oct.	45.8	20.7	40.9	14.1	23.7	37.5
Nov.	48.1	40.6	13.0	39.6	29.9	105.0
Dic.	146.0	94.1	92.5	79.9	29.1	110.5
Ene.	169.8	122.0	263.0	124.4	35.7	130.5
Feb.	43.1	114.1	196.6	18.5	52.4	183.9
Mar.	36.2	102.2	260.8	156.5	87.1	264.3
Abr.	45.4	200.6	170.8	130.4	95.2	196.2
May.	76.7	251.6	86.2	9.8	62.2	92.3
Jun.	88.6	244.8	19.4	48.4	31.9	46.7
Jul.	121.7	243.3	19.2	48.2	19.4	16.3
Total			1187.3	957.8	493.8	1207.3

Trascurrido diciembre se conocía que había suficiente agua, por eso se sembraron más hectáreas que las aprobadas en el PCR y aun así se utilizó menos cantidad de agua que la planificada en el PCR.

Entonces, las variantes A y B confirman las conclusiones del Capítulo III, es decir que el PCR y el manejo del reservorio no se sustentan en datos fijos, se ejecutan sin criterio alguno y que en la toma de decisiones se considera más el volumen existente en el reservorio. Así, si el volumen en el reservorio es bajo, se aprueban pocas hectáreas de cultivo y se entregan dotaciones reducidas; por el contrario, si hay mucha agua en el reservorio se aprueban gran cantidad de hectáreas y se entrega demasiada agua; luego, el manejo del agua no se basa en los pronósticos ni en el PCR aprobado.

La variante C se basa también en datos reales del año agrícola 1995-1996, pero se han reducido las dotaciones para el cultivo de caña de azúcar hasta el 60% de su demanda total (la dotación regular es de 70% ya que los azucareros utilizan 30% de agua del subsuelo para completar su demanda).

El volumen y la demanda calculados en la variante C se asemejan más a la realidad que los de la variante B. En la práctica también se redujeron las dotaciones para la caña de azúcar (Cuadro 9) como en el modelo.

En la variante D se ha determinado cuántas hectáreas se pueden cultivar según la suma de los pronósticos de la DGAS de 75% de persistencia mensual. Esta suma es solamente de 496 mmc. (En el cuadro figuran 563 mmc porque la disponibilidad de agua de recuperación se ha sumado a la descarga del río pronosticada para obtener la oferta).

Es claro que el Administrador Técnico no basa el PCR en este pronóstico. El Cuadro 10 muestra que con 496 mmc se puede cultivar un máximo de 28,000 ha de caña y ninguna de arroz. En esta variante no se ha empleado solamente la descarga pronosticada del río, sino también una parte del agua del reservorio.

El volumen en el reservorio al inicio de la campaña era de 213 mmc y al finalizar ésta fue de 56 mmc; entonces también se usaron 157 mmc del reservorio. El río trae 50 mmc de descarga durante el período agosto-octubre, por

CUADRO 9
RESULTADOS DE LA VARIANTE C
(Campaña 1995-1996, pero el módulo de caña es 60% de la demanda total)

Mes	Volumen		Demanda		Descarga	
	Cal. 95-96	Med. 95-96	Cal. 95/96	Med. 95/96	Cal. DGAS 75%	Med. 95/96
Ago.	35.0	35.0	12.9	19.8	14.2	11.3
Set.	39.2	24.3	12.1	13.5	13.0	12.9
Oct.	45.8	20.7	40.9	14.1	23.7	37.5
Nov.	48.1	40.6	13.0	39.6	29.9	105.0
Dic.	146.0	94.1	88.3	79.9	29.1	110.5
Ene.	174.0	122.0	246.5	124.4	35.7	130.5
Feb.	63.8	114.1	185.1	18.5	52.4	183.9
Mar.	68.5	102.2	244.3	156.5	87.1	264.3
Abr.	94.3	200.6	159.6	130.4	95.2	196.2
May.	136.7	251.6	81.9	9.8	62.2	92.3
Jun.	152.8	244.8	19.4	48.4	31.9	46.7
Jul.	185.9	243.3	19.2	48.2	19.4	16.3
Total		214.8	1123.1	957.8	493.8	1207.3

ello se supone que debe haber un mínimo de 50 mmc en el reservorio al final del año agrícola, pues se necesitan aproximadamente 100 mmc para empezar en noviembre las campañas del arroz y el algodón.

El pronóstico de 496 mmc es tan bajo que el PCR nunca puede basarse en él porque esto sería motivo de una montaña de denuncias de parte de los agricultores.

Oficialmente el PCR se debe sustentar en el pronóstico de la DGAS, la disponibilidad de agua en el reservorio, etcétera, pero esta información no se utiliza pues se sabe que no es correcta. No se tiene confianza en el PCR porque no se basa en datos reales o criterios fijos y por eso no se utiliza para manejar el agua y los cultivos.

De los resultados de las variantes se puede concluir que el modelo funciona bien y que la demanda total calculada es muy similar a la demanda estimada por la ATDRCH-L (Capítulo III). Las diferencias entre la demanda calculada y medida provienen de las diferencias entre el PCR planificado y el manejo real del agua y de que en el modelo toda el área de un

CUADRO 10
RESULTADOS (mmc) DE LA VARIANTE D
(La oferta de río es el pronóstico de la DGAS con una persistencia de 75% mensual)

Mes	DGAS 75%		Acum.
	Volumen	O-D	
Ago.	213.8	8.4	8.4
Set.	222.2	0.1	16.5
Oct.	230.3	-18.8	-2.4
Nov.	211.4	22.8	20.4
Dic.	234.2	-26.9	-6.5
Ene.	207.3	-92.6	-99.2
Feb.	114.6	-46.6	-145.8
Mar.	68.0	51.4	-197.2
Abr.	16.6	18.6	-178.6
May.	35.2	5.5	-173.1
Jun.	40.7	15.0	-158.1
Jul.	55.7	1.1	-157.0

O-D: La oferta menos la demanda (mmc).
Acum.: O-D acumulativa (mmc).

cultivo tiene los mismos coeficientes de riego mensuales. Por ejemplo, en el modelo se siembra y trasplanta todo el arroz en un mes y en la realidad hay una distribución en el tiempo y dicho cultivo se trasplanta desde diciembre hasta febrero.

B. Alternativas para el manejo del reservorio

Se ha investigado diferentes posibilidades para el manejo del reservorio con las variantes E y F. En la variante E se ha calculado cuántas hectáreas de arroz pueden cultivarse con diversas ofertas de agua basadas en diferentes probabilidades. En la variante F se hizo lo mismo pero con módulos de riego más bajos: para arroz 9,000 m³/año y para caña 10,000 m³/año (por lo general estos módulos son de 12,000 y 11,800 m³/año, respectivamente).

Del análisis del Cuadro 11 se concluye que en un año normal (50% de persistencia anual) se pueden cultivar 17,000 ha de arroz y en un año seco (75% anual) sólo 800 ha. De esta variante no se puede derivar un manejo ideal porque los datos usados no corresponden a la realidad. En verdad, en un año normal se cultivan 30,000 ha de arroz, pero la producción por hectárea no es conocida. Los coeficientes de riego empleados tienen que ser menores que en la teoría.

En la variante F los módulos de arroz y de caña de azúcar son de 9,000 y 10,000 m³/año respectivamente (menores que los datos oficiales). En esta variante se pueden cultivar 7,300 ha de arroz con una probabilidad de 75% de persistencia anual y 28,500 ha de arroz con una probabilidad de 50% de persistencia anual (Cuadro 12). El área de caña en esta variante era de 31,294 ha, lo que significa una gran superficie.

Tales resultados corresponden a la realidad porque se usan aproximadamente los módulos de esta variante. Es muy importante investigar la cosecha por área, las dotaciones y los módulos si se pretende manejar de manera óptima el reservorio. En el Cuadro 7 y el Gráfico 3 se muestra el volumen del reservorio de cada mes usando las probabilidades de las descargas de 50 y 75% de persistencia mensual.

En el Gráfico 3 se aprecia que el volumen de agua en el reservorio disminuye cuando la

CUADRO 11
RESULTADOS DE LA VARIANTE E: DATOS BÁSICOS, PROBABILIDADES DIFERENTES

	Probabilidades basadas en persistencias mensuales		Probabilidad basada en persistencias anuales	
	50%	75%	75%	50%
Máx. arroz	11,500	0	800	17,000
Volumen inicial	132	104	90	119
Caña	—	20,000	—	—
Área total	70,439	47,645	59,739	75,939

Máx. arroz: Máxima cantidad de hectáreas de arroz que es posible cultivar con la oferta existente en 50, 60, 75 ó 90% de los años. Si se cultiva más, hay un déficit de agua.

Volumen inicial: Volumen en mmc que se requieren en el reservorio antes de la campaña

Caña: El área de caña de azúcar en el modelo es de 31,294 ha, igual que la superficie de caña cultivada en la campaña 1996-1997. Si se ha reducido la superficie de arroz hasta 0 ha y aún se sigue presentando déficit de agua, se ha reducido el área de caña.

demanda es mayor que la oferta y se incrementa cuando la demanda es menor. Si se usan las probabilidades de 75% de persistencia mensual y los módulos de la variante F, este gráfico muestra un manejo ideal del reservorio.

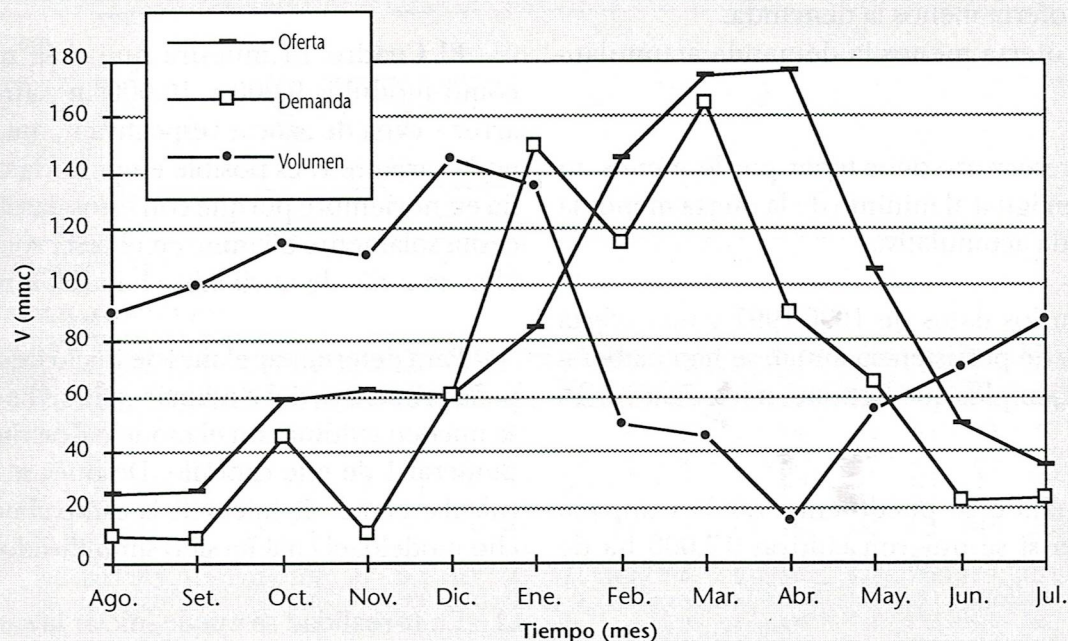
Al final de un año húmedo siempre hay mucha más agua en el reservorio que la necesaria para iniciar la próxima campaña. Una parte de este volumen excedente se puede utilizar para cultivar más hectáreas y el resto debe ahorrarse para años secos. Si se va a emplear el volumen excedente en años húmedos, se tiene que planificar con una persistencia de, por ejemplo, 75% anual para limitar el riesgo en años secos.

Al planificar el manejo del reservorio y del agua en general es imprescindible utilizar datos que correspondan a la realidad; de no ser así la planificación no tendrá validez.

3. INICIO DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA

Un reservorio se construye para distribuir el agua de manera óptima a lo largo del año. El

GRÁFICO 3
OFERTA, DEMANDA Y VOLUMEN EN EL RESERVORIO



CUADRO 12
RESULTADOS DE LA VARIANTE F

Mes	P 50% año			P 75% año		
	Volumen	O-D	Acum.	Volumen	O-D	Acum.
Ago.	125.0	15.5	15.5	92.0	10.0	10.0
Set.	140.5	17.6	33.0	102.0	11.8	21.8
Oct.	158.0	10.6	43.6	113.8	-3.0	18.8
Nov.	168.6	50.9	94.5	110.8	36.1	54.9
Dic.	219.5	-15.8	78.7	146.9	-14.1	40.8
Ene.	203.7	-121.5	-42.8	132.8	-81.0	-40.3
Feb.	82.2	-18.4	-61.1	51.7	-7.8	-48.1
Mar.	63.9	-50.9	-112.1	43.9	-31.2	-79.2
Abr.	12.9	41.9	-70.2	12.8	39.4	-39.8
May.	54.8	27.9	-42.3	52.2	18.2	-21.6
Jun.	82.7	31.2	-11.1	70.4	18.9	-2.7
Jul.	113.9	11.2	0.1	89.3	3.7	1.0

agua allí almacenada permite iniciar el riego antes de que se produzcan fuertes descargas en el río. Al respecto, también se ha elaborado un pequeño modelo para determinar el volumen necesario para empezar y el mes de inicio de la campaña de arroz. Este modelo se parece mucho al otro y usa los mismos datos básicos.

En el primer rubro del Cuadro 13 figuran las áreas de arroz, caña de azúcar, algodón y maíz y el volumen real del primer día del mes. En el segundo rubro el modelo calcula las demandas de los cultivos, la industria y la población. En el tercero se presentan las descargas del río. El cuarto rubro muestra los resultados, que son:

- ☐ La demanda incluyendo las pérdidas.
- ☐ La oferta o la descarga del río, más el agua de recuperación.
- ☐ La oferta menos la demanda.
- ☐ La oferta menos la demanda acumulativa.

El reservorio debe tener por lo menos un volumen igual al mínimo de la oferta menos la demanda acumulativa.

Con los datos de 1996-1997 y una oferta de 50% de persistencia anual, se han elaborado los ejemplos que figuran en los Cuadros 13 y 14.

¿Cuándo se puede empezar la campaña agrícola si se quieren cultivar 17,000 ha de arroz?

En el primer día de octubre el volumen en el reservorio es de 80 mmc y se necesita 203 mmc (Cuadro 13, rubro 4, cuadro: Inicio en octubre, en la última columna la cantidad mínima de la oferta menos la demanda acumulativas es -203.4 mmc), entonces no se puede empezar la campaña. En noviembre el volumen real es de 150 mmc, pero debe ser de 197 mmc, entonces el inicio de la campaña se retrasará. El primer día de diciembre el volu-

men en el reservorio debe ser de 203 mmc y es de 210 mmc, entonces se puede iniciar la campaña.

El Cuadro 14 muestra que si se utilizan como módulos 9,000 y 10,000 m³/año para arroz y caña de azúcar respectivamente, como en la variante F, es posible empezar la campaña en noviembre porque con estos datos se necesita solamente 86 mmc en el reservorio y en el primer día de noviembre hay 150 mmc.

Para determinar el mes de inicio de la campaña primero se debe estimar cuántas hectáreas se pueden cultivar con el modelo descrito en el numeral 1 de este capítulo. Después se puede calcular el mes de inicio de la campaña con dicho modelo, el cual ha sido simplificado:

- ☐ En la realidad se puede iniciar la campaña cualquier día de la semana; el modelo solamente calcula el mes de inicio.
- ☐ En la realidad a veces se empieza la campaña con una parte del área de arroz en noviembre y otra parte en diciembre. En el modelo, por el contrario, toda el área de arroz se inicia en el mismo mes. Cualquiera que conozca el programa EXCEL puede cambiar el modelo fácilmente si desea simular estos desfases.

CUADRO 13
MODELO PARA DETERMINAR EL INICIO DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA
Oferta: Descarga de 50% persistencia anual

1. VARIABLES

Cultivo	Hectárea	Volumen (mmc) en el reservorio a:	
Arroz	17,000	1 Oct.	80
Caña	31,294	1 Nov.	150
Algodón	8,000	1 Dic.	210
Maíz	7,100	1 Ene.	220
Otros	12,545*		
Total	75,939	Recuperación:	5,797 (mmc/mes)

* Los cálculos están en la hoja 2.

2. CÁLCULOS DE LA DEMANDA (mmc)

Mes	Arroz	1	Arroz	2	Arroz	3	Arroz	4	Caña	Algodón	Maíz	Otros cult.	Poblac.	Total 1	Total 2	Total 3	Total 4
	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Indust.	mmc/mes	mm ³ /mes	mm ³ /mes	mm ³ /mes
Ago.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	3.64	5.62	9.3	9.3	9.3
Set.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	3.10	5.44	8.5	8.5	8.5
Oct.	0.8	13.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2.5	20	13.04	5.62	52.3	38.7	38.7
Nov.	3.1	52.7	0.8	13.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	4.91	5.44	63.1	24.0	10.4
Dic.	2.2	37.4	3.1	52.7	0.8	13.6	0	0.0	0.8	25.0	1.6	12.8	0	8.66	5.62	89.5	104.8
Ene.	3	51.0	2.2	37.4	3.1	52.7	0.8	13.6	3	93.9	1.4	11.2	0	5.68	6.43	168.2	154.6
Feb.	2.1	35.7	3	51.0	2.2	37.4	3.1	52.7	2.2	68.8	1.3	10.4	0	5.66	6.22	126.8	142.1
Mar.	0.8	13.6	2.1	35.7	3	51.0	2.2	37.4	3	93.9	0	0	2.9	4.47	6.43	139.0	161.1
Abr.	0	0.0	0.8	13.6	2.1	35.7	3	51.0	2	62.6	0	0	0	4.45	5.44	72.5	86.1
May.	0	0.0	0	0.0	0.8	13.6	2.1	35.7	0.8	25.0	0	0	1.5	10.7	11.26	52.6	52.6
Jun.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.8	13.6	0	0.0	0	0	1.3	9.2	3.52	5.44	18.2
Jul.	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0	1.1	7.8	5.86	5.62	19.3
Suma	12	204.0	12.0	204.0	12.0	204.0	12.0	204.0	11.8	369.3	6.8	54.4	6.8	48.3	74.25	68.94	819.1

Coef. = Coeficiente de riego en miles de m³/ha/mes D = Demanda por cultivo (mmc/mes).

3. LA DESCARGA DE RÍO (mmc/mes)

Mes	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Total
PS0	21.1	22.3	52.8	57.8	57.3	86.6	139.0	167.0	169	101.3	47.9	29.4	951.0

4. RESULTADOS (mmc)

Inicio en octubre

Inicio en noviembre

Mes	D	O	O-D	O-D ac		Mes	D	O	O-D	O-D ac	
Oct.	65.3	58.6	-6.7	-6.7		Nov.	29.9	63.6	33.6	33.6	
Nov.	78.8	63.6	-15.2	-21.9		Dic.	131.0	63.1	-68.0	-34.3	
Dic.	111.9	63.1	-48.8	-70.8		Ene.	193.2	92.3	-100.9	-135.2	
Ene.	210.2	92.3	-118	-188.6		Feb.	177.7	145	32.9	-168.1	
Feb.	158.5	144.8	-13.7	-202.4		Mar.	201.3	173	-28.6	-196.7	
Mar.	173.7	172.7	-1.0	-203.4		Abr.	107.6	174	66.8	-129.9	
Abr.	90.6	174.4	83.8	-119.6		May.	65.7	107	41.4	-88.6	
May.	65.7	107.1	41.4	-78.2		Jun.	22.7	53.7	30.9	-57.6	
Jun.	22.7	53.7	30.9	-47.3		Jul.	24.1	35.2	11.1	-46.5	Vnov.
Jul.	24.1	35.2	11.1	-36.2	Voct.						
Suma	1,002	965.5	-36.2		80	Suma	953.4	907	-46.5		150

D = Demanda
O = Oferta
O - D ac = Oferta - demanda acumulativa

Inicio en diciembre

Inicio en enero

Mes	D	O	O-D	O-D ac		Mes	D	O	O-D	O-D ac	
Dic.	82.14	63.1	-19	-19.1		Ene.	163.5	92.3	-71.145	-71.14	
Ene.	212.4	92.3	-120	-139		Feb.	179.8	145	-34.994	-106.1	
Feb.	160.7	145	-16	-155		Mar.	203.5	173	-30.722	-136.9	
Mar.	220.5	173	-48	-203		Abr.	154.3	174	20.01	-116.9	
Abr.	135.2	174	39.1	-164		May	110.3	107	-3.2647	-120.1	
May.	82.7	107	24.4	-139		Jun	39.74	53.7	13.95	-106.2	
Jun.	22.74	53.7	30.9	-108		Jul.	24.11	35.2	11.113	-95.05	Voct.
Jul.	24.11	35.2	11.1	-97.1	Voct.						
Suma	940.4	843	-97		210	Suma	875.3	780	-95.053		220

CUADRO 14
MODELO PARA DETERMINAR EL INICIO DE LA CAMPAÑA AGRÍCOLA
Oferta: Probabilidad de 50% persistencia anual/ Módulo arroz 9,000 m³/ha/año, caña 10,000 m³/ha/año

1. VARIABLES

Cultivo	Hectárea	Volumen (mmc) en el reservorio a:	
Arroz	17,000	1 Oct.	80
Caña	31,294	1 Nov.	150
Algodón	8,000	1 Dic.	210
Maíz	7,100	1 Ene.	220
Otros**	12,545*		
Total	75,939	Recuperación:	5.8 (mmc/mes)

** Los cálculos están en la hoja 2.

2. CÁLCULOS DE LA DEMANDA (mmc)

Mes	Arroz 1		Arroz 2		Arroz 3		Arroz 4		Caña		Algodón		Maíz		Otros cult.	Poblac.	Total 1	Total 2	Total 3	Total 4
	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	Coef.	D	D	Indust.	mmc/mes	mm³/mes	mm³/mes	mm³/mes
Ago.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	3.64	5.62	9.3	9.3	9.3	9.3
Set.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	3.10	5.44	8.5	8.5	8.5	8.5
Oct.	0.6	10.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2.5	20	0	0	13.04	5.62	48.9	38.7	38.7	38.7
Nov.	2.3	39.1	0.6	10.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	0	0	4.91	5.44	49.5	20.6	10.4	10.4
Dic.	1.7	28.9	2.3	39.1	0.6	10.2	0	0.0	0.6	18.8	1.6	12.8	0	0	8.66	5.62	74.8	85.0	56.1	45.9
Ene.	2.3	39.1	1.7	28.9	2.3	39.1	0.6	10.2	2.6	81.4	1.4	11.2	0	0	5.68	6.43	143.8	133.6	143.8	114.9
Feb.	1.5	25.5	2.3	39.1	1.7	28.9	2.3	39.1	1.9	59.5	1.3	10.4	0	0	5.66	6.22	107.2	120.8	110.6	120.8
Mar.	0.6	10.2	1.5	25.5	2.3	39.1	1.7	28.9	2.6	81.4	0	0	2.9	20.6	4.47	6.43	123.1	138.4	152.0	141.8
Abr.	0	0.0	0.6	10.2	1.5	25.5	2.3	39.1	1.7	53.2	0	0	0	0.0	4.45	5.44	63.1	73.3	88.6	102.2
May.	0	0.0	0	0.0	0.6	10.2	1.5	25.5	0.6	18.8	0	0	1.5	10.7	11.26	5.62	46.3	46.3	56.5	71.8
Jun.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0.6	10.2	0	0.0	0	0	1.3	9.2	3.52	5.44	18.2	18.2	18.2	28.4
Jul.	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0	1.1	7.8	5.86	5.62	19.3	19.3	19.3	19.3
Suma	9	153.0	9.0	153.0	9.0	153.0	9.0	153.0	10	312.9	6.8	54.4	68	48.3	74.25	68.94	711.8	711.8	711.8	711.8

Coef. = Coeficiente de riego en miles de m³/ha/mes

D = Demanda por cultivo (mmc/mes).

3. LA DESCARGA DE RÍO (mmc/mes)

Mes	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Total
P50	21.1	22.3	52.8	57.8	57.3	86.6	139	167.0	168.6	101.3	47.9	29.4	951

4. RESULTADOS (mmc)

Inicio en octubre

Mes	D	O	O-D	O-D ac
Oct.	61.07	58.6	-2.4	-2.43
Nov.	61.82	63.6	1.77	-0.66
Dic.	93.45	63.1	-30	-31.1
Ene.	179.7	92.3	-87	-118
Feb.	134	145	10.7	-108
Mar.	153.8	173	18.9	-88.8
Abr.	78.86	174	95.5	6.74
May.	57.88	107	49.2	55.9
Jun.	22.74	53.7	30.9	86.9
Jul.	24.11	35.2	11.1	98
Total	867.5	965	98	

Inicio en noviembre

Mes	D	O	O-D	O-D ac
Nov.	25.7	63.6	37.9	37.9
Dic.	106.2	63.1	-43.1	-5.2
Ene.	167.0	92.3	-74.6	-80
Feb.	151.0	145	-6.3	-86
Mar.	172.9	173	-0.2	-86
Abr.	91.6	174	82.7	-3.6
May.	57.9	107	49.2	45.6
Jun.	22.7	53.7	30.9	76.6
Jul.	24.1	35.2	11.1	87.7
Total	819.2	907	87.7	

D = Demanda
O = Oferta
O - D ac = Oferta - demanda acumulativa

Vnov.

150

Inicio en diciembre

Mes	D	O	O-D	O-D ac
Dic.	70.07	63.1	-7	-7.02
Ene.	179.7	92.3	-87	-94.4
Feb.	138.3	145	6.49	-87.9
Mar.	189.9	173	-17	-105
Abr.	110.7	174	63.6	-41.5
May.	70.63	107	36.4	-5.05
Jun.	22.74	53.7	30.9	25.9
Jul.	24.11	35.2	11.1	37
Total	806.3	843	37	

Inicio en enero

Mes	D	O	O-D	O-D ac
Ene.	143.6	92.3	-51.2	-51
Feb.	151	145	-6.26	-58
Mar.	177.2	173	-4.45	-62
Abr.	127.7	174	46.62	-15
May.	89.76	107	17.31	1.97
Jun.	35.49	53.7	18.2	20.2
Jul.	24.11	35.2	11.11	31.3
Total	748.9	780	31.29	

Voct.

220

La anterior Ley de Aguas data de 1969. Desde esa fecha la situación en el Perú y las opiniones sobre el manejo del agua así como la política agraria han sufrido cambios. Del mismo modo, la población se ha incrementado, la agricultura es diferente y resulta claro que el manejo del agua no funciona, pero es posible mejorarlo. La eficiencia en el uso del agua es baja, su distribución es desigual e injusta y las autoridades del agua han perdido credibilidad. Un problema específico es que el instrumento de planificación que se usa en la actualidad —el Plan de Cultivo y Riego— no funciona. Al respecto, el Grupo Permanente de Estudios sobre Riego (GPER) señala (1996): «Los PCR... son documentos que no han tenido mayor utilidad, salvo en períodos limitados. En realidad su finalidad principal fue la de servir como un requisito formal para obtener créditos del desaparecido Banco Agrario». Entonces, es necesario mejorar el PCR o buscar una alternativa para hacer lo propio con el manejo del agua, lo que se viene discutiendo desde hace algunos años en el proyecto de nueva Ley de Aguas.

La nueva Ley de Aguas busca alcanzar lo siguiente:

- ☐ Mejorar la eficiencia y productividad del uso del agua.
- ☐ Recuperar el principio de autoridad.
- ☐ Lograr una distribución más equitativa del agua.
- ☐ Otorgar a los usuarios una fuente de garantía adicional.
- ☐ Promover una mayor participación del sector privado en la planificación del uso del recurso hídrico.
- ☐ Mejorar los precios relativos del agua.
- ☐ Reducir el gasto público ineficiente.

La ley busca principalmente: «La creación de un mercado de aguas que sirva como un

eficiente asignador de un recurso cada vez más escaso» (IPROGA *Agua y Riego* N° 7, 1997).

De acuerdo a la Ley de Aguas de 1969, los usuarios obtienen el derecho de uso del recurso para un objetivo determinado. Para los agricultores esto significó un derecho al volumen de agua necesaria para instalar el cultivo aprobado en el PCR, para lo cual es indispensable contar con licencia de uso de agua. El derecho de agua estaba ligado al uso o actividad. Algunos agricultores tienen solamente permiso, lo que significa que pueden usar el agua cuando exista recurso hídrico excedente y toda el área con licencia haya sido atendida. Un agricultor con cinco hectáreas de arroz, de las cuales cuatro son aprobadas en el PCR, tiene derecho a $4 \times 14,000 \text{ m}^3 = 56,000 \text{ m}^3$ en un año. El área aprobada puede ser diferente cada año.

La nueva ley considera dar total libertad de uso y disposición del agua, donde uso y cantidad no están ligados. Esta ley otorga derechos de propiedad sobre el agua y no de uso de la misma. Los derechos son reales, lo que significa que los usuarios pueden emplear el agua para cualquier fin legítimo. El titular dispone de su derecho y puede alquilar, vender, hipotecar, etcétera, tal derecho. No hay preferencias, sino se considera una distribución del caudal en partes equitativas, turnos o porcentajes, entre los titulares de los derechos permanentes. Asimismo, la ley establece que será el mismo agricultor quien elija sus cultivos y haga su planificación, por lo que el PCR ya no tiene ninguna utilidad.

Según la nueva ley es posible hacer más eficiente el uso del agua estableciendo un mercado del agua, donde es necesario que los usuarios tengan derechos privados sobre ésta. Los agricultores pueden comprar y vender agua de otros usuarios, así la eficiencia aumentará porque el recurso tendrá un valor económico.

La diferencia más importante entre el proyecto de nueva Ley de Aguas y la de 1969 es que en la primera los derechos de agua están privatizados. La Ley de 1969 establece que el Estado tiene el dominio sobre las aguas y la nueva que éstas son patrimonio de la Nación pero que los individuos pueden obtener derechos de propiedad sobre las mismas.

Es claro que un mercado de aguas se deberá fundar en un *sistema adecuado de administración* del recurso, a fin de garantizar que las compras y ventas de derechos no afecten a terceros ni al medio ambiente. La nueva ley no establece claramente si será el Estado o algún organismo en particular el que administrará

este mercado, pero deja entrever que la Junta de Usuarios y la Autoridad de Aguas adquirirán mucha importancia en el tema.

Según la nueva ley, la Autoridad de Aguas emitirá los títulos de derecho de agua y asignará un volumen determinado a las Comisiones de Regantes, las que distribuirán esta asignación al interior de sus respectivos subsectores. La Junta de Usuarios será responsable de la distribución y administración del recurso. En vista de la complejidad de la tarea, el Estado, representado en este caso por la Autoridad de Aguas y el Consejo Nacional de Aguas, deberá apoyar el fortalecimiento de las organizaciones de usuarios. Sin la participación activa y per-

PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE LA LEY 17752 DE 1969 Y LA NUEVA LEY DE AGUAS

Ley 17752 de 1969

- El Estado tiene el dominio de las aguas.
- El agua y la tierra están ligadas.
- Asigna prioridades de uso.
- El PCR es de uso obligatorio.
- El Estado tiene la autoridad total sobre el manejo de las aguas.
- El Distrito de Riego es la unidad de administración y planificación.

Nueva Ley

- Las aguas son patrimonio de la Nación.
- El agua se desliga de la tierra.
- No asigna prioridades de uso.
- Elimina el uso del PCR.
- El Estado promueve, supervisa y norma el manejo de las aguas.
- La autoridad de cuenca es la unidad de administración y planificación.

DIFERENCIAS ENTRE LOS DERECHOS QUE OTORGA LA LEY 17752 DE 1969 Y LA NUEVA LEY DE AGUAS

Ley 17752 de 1969

- Otorga el derecho de uso de aguas, no da propiedad privada ni derechos adquiridos sobre éstas.
- El derecho de uso es intransferible y está ligado al uso o actividad. Está sujeto a restricciones incluyendo causales de caducidad.
- Se otorgan derechos de uso permanente (licencia), de uso temporal (autorización) y de uso eventual sobre excedentes de agua (permisos).
- Estos derechos no constituyen una garantía real.

Nueva Ley

- Se otorga propiedad sobre los derechos de uso del agua.
- El derecho de aguas otorga total libertad de uso y disposición y puede ser empleado como garantía. No tiene causales de extinción o caducidad.
Las transferencias, transmisiones, hipotecas, etcétera, de derechos de agua se rigen por las normas del Código Civil.
- Se pueden otorgar derechos consuntivos o no consuntivos de ejercicio eventual o permanente.
- Estos derechos se pueden usar como garantía real para conseguir financiamiento.

manente de los regantes en la distribución y uso racional del agua, los planteamientos de la nueva ley no funcionarán.

Una de las razones que explica el ineficiente uso del agua con fines agrícolas en muchos países, y por cierto en el Perú, es el bajo precio que pagan los usuarios por el recurso. Es necesario entonces que los precios del agua reflejen su valor real, es decir que sean elevados. Esta medida incrementará la eficiencia del uso del agua.

Un precio de libre mercado traerá consigo una distribución más eficiente y un precio más adecuado, pero también conlleva un peligro pues «con este sistema las necesidades de los consumidores potenciales de bajos ingresos pueden quedar total o parcialmente insatisfechas» (FAO). Es más fácil para la población urbana, la industria y la minería ofrecer dinero para comprar agua que para los agricultores. El agua se puede concentrar en pocas manos como ocurría con las tierras en la época de las grandes haciendas. Es necesario entonces contar con derechos de agua determinados, como una base de igualdad para garantizar el agua a los agricultores pobres.

Otro peligro del libre mercado es que nadie protege el recurso agua. El Estado tiene que controlar el uso y manejo del agua para que no ocurran daños permanentes al medio ambiente y más específicamente al recurso hídrico.

Un asunto difícil para el Estado será determinar la cantidad de agua por hectárea a la que tendrán derecho los usuarios.

La cantidad de agua garantizada en el río Chancay es muy baja, aunque también se presentan años con grandes volúmenes. Es necesario definir qué medidas se tomarán si se presenta un año con más o con menos agua que la necesaria para las dotaciones según los derechos, y cuándo y en qué momento éstas se aumentarán o reducirán.

Es posible otorgar derechos por la misma cantidad de agua a todas las hectáreas con licencia o, de lo contrario, considerar qué cultivan los agricultores generalmente y otorgarles derechos de acuerdo a sus necesidades reales.

También es posible hacer una zonificación de cultivos y otorgar derechos a una mayor cantidad de agua cuando los suelos son propicios para el cultivo de arroz, lo que significa que el agua y su uso están relacionados (esto no está establecido en la nueva ley). Un ejemplo de ello es que los agricultores que tienen suelos adecuados para arroz obtienen más agua que los otros agricultores y no como señala la nueva ley, que todos recibirán la misma cantidad del recurso hídrico.

Es preciso conocer las eficiencias de conducción de los canales, por ejemplo: ¿cuánta agua se necesita si los agricultores tienen derecho a 9,000 m³ en sus parcelas? Esto depende de cuánta agua se pierde desde que ésta sale del reservorio hasta su llegada a la chacra.

Para que el mercado de agua funcione bien se requiere una administración adecuada, un precio más alto y además:

- ☐ Un derecho definido de propiedad y uso de cierta cantidad de agua.
- ☐ Una demanda mayor a la oferta.
- ☐ Un recurso hídrico disponible.
- ☐ La aceptación de la sociedad. Es importante que se acepte el concepto de libre transferencia de los derechos de uso del agua a través de un sistema comercial.
- ☐ Una estructura administrativa y una reglamentación satisfactoria.
- ☐ Movilidad suficiente para transportar agua entre diferentes lugares.
- ☐ Un sistema de asignación inicial justo y equitativo. Es preciso poner en práctica un sistema que además reconozca los usos históricos, aunque sin recompensar el desperdicio.
- ☐ Un sistema justo de reasignación de derechos. Debe haber un sistema equitativo de transferencia de los derechos de uso del

agua que permita reasignarlos a distintos usos a medida que cambian las necesidades.

Antes de poner en práctica la nueva Ley de Aguas en una cuenca se debe definir las acciones a desarrollar, entre otras, realizar investigaciones que nos den datos básicos como: ¿Qué instituciones existen en la cuenca y cuál es su función? ¿Qué derechos tienen los usuarios en la actualidad? ¿Cuáles son las características de las unidades productivas familiares? ¿Cuál es la disponibilidad del recurso hídrico? ¿Qué eficiencias de conducción tienen los diferentes canales? ¿Qué infraestructura de riego y drenaje existe? ¿Cómo pueden participar los usuarios en este proyecto? ¿Cómo se organiza la administración del agua y del dinero de la compra y venta de este recurso? ¿Cómo se mide la cantidad de agua que reciben los agricultores?

1. INFLUENCIA DE LA NUEVA LEY DE AGUAS EN LA PLANIFICACIÓN

La nueva Ley de Aguas tiene mucha influencia en la planificación agrícola:

- ❑ El PCR y todo lo necesario para desarrollarlo (solicitudes de intención de siembra, cálculos, reuniones del Comité de Coordinación para aprobar el PCR, etcétera) desaparecerá.
- ❑ La responsabilidad de la planificación de la campaña será del agricultor y no del Estado.
- ❑ La Junta de Usuarios tendrá mucho trabajo administrativo y deberá distribuir el agua eficientemente.
- ❑ La ATDRCH-L cambiará sus funciones, en lugar de aprobar el PCR asignará derechos y ejecutará investigaciones para mejorar las eficiencias de conducción, los métodos de riego, el manejo del reservorio, etcétera.
- ❑ Los agricultores tendrán cada año derecho a la misma cantidad de agua, pero es imposible proveer la misma cantidad todos

los años porque la descarga de río Chancay es muy variable.

- ❑ El manejo del Reservorio Tinajones cambiará también. Éste se tiene que basar en la misma cantidad de agua que los derechos otorgados. El manejo debe ser sostenible y planificarse a futuro, pensando en muchos años hacia adelante y no en una campaña agrícola solamente.

La distribución del agua habrá de ser planificada aun cuando no se elabore el PCR. Tal planificación debe considerar algunas decisiones, como: ¿a quién se le entrega el agua? ¿cuándo? y ¿cuánto? Los agricultores que cultivan arroz necesitan agua en un período diferente a los que cultivan algodón, maíz o caña de azúcar. Se cree, por ejemplo, que los usuarios tienen que solicitar su agua con unas semanas de anticipación, y con estas solicitudes las Comisiones de Regantes pueden calcular las demandas semanales de sus respectivos subsectores.

Otro tipo de decisiones también importantes son: ¿cuándo reducir o aumentar las dotaciones de agua si se presenta un año muy seco o muy húmedo?, ¿en qué datos se basará esta decisión? y ¿quién decidirá al respecto? El manejo del agua no puede ser obviado.

Parece que poner en práctica un sistema como el que plantea el proyecto de nueva Ley de Aguas es difícil y complejo. Es muy importante realizar investigaciones dirigidas a mejorar la gestión de agua. Este proyecto de ley contribuye a iniciar el proceso de toma de conciencia acerca de la gestión y el manejo del agua, pero las organizaciones relacionadas con el agua aún no están listas para asumir su aplicación.

2. CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE POR HECTÁREA

Se ha estimado el volumen de agua que se usa por hectárea a fin de conocer qué cantidad es posible obtener aproximadamente

según la nueva Ley de Aguas. Las cifras incluidas en el Cuadro 15 representan el volumen total de agua, el cual sin embargo sufre pérdidas por conducción, infiltración y otros; entonces la cantidad que recibe el agricultor es inferior a estas cifras. El área total empleada en los subsectores del valle asciende a 78,775 hectáreas.

Según el cuadro, resulta claro que en los años muy secos (90% de persistencia anual) se puede entregar hasta 7,633 m³/año por hectárea, lo que significa un módulo de 7,633/1.25 = 6,106 m³/ha/año. En los años secos es factible entregar hasta 9,098/ 1.25 = 7,278 m³/ha/año y en los años normales hasta 12,201/1.25 = 9,760 m³/ha/año. La cantidad de agua disponible por hectárea se divide entre 1.25 para

considerar las pérdidas (sólo a nivel de subsector al igual que en la elaboración del PCR).

En conclusión, se puede llegar al siguiente acuerdo con los agricultores: siempre recibirán un volumen de agua fijo de por lo menos 6,000 m³/ha, pero en años normales (50% de persistencia anual), en los cuales hay suficiente agua, podrán obtener hasta 9,700 m³/ha. El uso que le darán a esta dotación es una decisión propia y ya no del dominio de la ATDRCH-L. Con la nueva ley, la planificación de la distribución del agua durante un año agrícola y la determinación de cuándo realizar la entrega de una mayor cantidad en años húmedos, será tan difícil como en la actualidad. Para elaborar un reglamento al respecto, es necesario realizar previamente un estudio específico.

CUADRO 15
CANTIDADES DE AGUA SEGÚN DIFERENTES PROBABILIDADES (m³/ha/año)

Tipo	Persistencias mensuales				Persistencias anuales		
	50%	75%	90%	60%	75%	50%	90%
Persistencia							
Cantidad (m ³ /año)	11,104	6,877	5,197	9,153	9,098	12,201	7,633

CONCLUSIONES

1. El «pronóstico» que se emplea actualmente en la planificación de la campaña agrícola no es tal, sino sólo una probabilidad. Las consecuencias de trabajar con una probabilidad en lugar de un pronóstico para el PCR son:

- ❑ No es posible pronosticar si se presentará un año seco, húmedo o normal, en tanto una probabilidad no permite conocer la descarga del año venidero.
- ❑ Trabajar con una probabilidad implica un riesgo indicado por la persistencia. Se debe definir este riesgo y seleccionar la persistencia anual con la que se desea trabajar; por ejemplo: ¿cuántos años de un total de diez pueden presentar déficit de agua?

Las instituciones que manejan el agua tendrán que elegir junto con los usuarios qué riesgo tomarán, es decir, la persistencia que usarán para calcular el PCR, decisión que no tiene carácter técnico sino político.

Para dar validez al PCR, los usuarios, la JU-DRCH-L y la ATDRCH-L deben saber en qué se basa y estar de acuerdo en ello. Dicha base (probabilidad con una persistencia determinada) puede funcionar como un criterio claro para la aprobación del PCR y para el manejo y distribución del agua.

2. El método actual para calcular esta probabilidad presenta dos errores:

- ❑ No considera los cambios que trajo consigo la construcción de los túneles Chotano y Conchano.

- ❑ Se usan probabilidades mensuales para planificar el año agrícola; esto es, se suman las probabilidades de descargas mensuales con una persistencia de 75% para determinar la descarga de un año con persistencia de 75%, procedimiento que da un resultado demasiado bajo.

Para calcular correctamente la descarga que se presenta en el 75% de los años, hay que tomar la descarga anual de 75% de persistencia y distribuirla en los diferentes meses del año en porcentajes iguales a los promedios de las descargas mensuales. Asimismo, se debe considerar la construcción de los túneles en 1960 y 1983.

3. No es posible pronosticar la descarga de un año agrícola, a pesar de que es necesario para la planificación de la campaña; por eso se tiene que usar probabilidades.

Para pronosticar la descarga del siguiente año agrícola con modelos conceptuales es necesario conocer la precipitación. La lluvia tarda en llegar hasta la Bocatoma Raca Rumi sólo unos días y no un año, por esto no se conoce la precipitación que constituye la descarga de la próxima campaña y no es posible pronosticar la descarga con tales modelos.

Tampoco es factible pronosticar la descarga anual usando las relaciones entre la descarga de un mes o unos meses y la suma de la descarga de un año. Después de febrero se puede pronosticar la descarga del año agrícola, pero ello ya no tiene ningún valor para la campaña.

4. Los métodos de obtención de datos sobre disponibilidad de agua de recuperación y subsuelo, pérdidas y coeficientes de riego,

así como la manera de calcular la disponibilidad de agua del reservorio necesitan cambios. Los datos que se usan actualmente para la planificación de la campaña no son exactos.

5. Los datos (pronósticos, otras disponibilidades de agua, coeficientes de riego, etcétera) en los que oficialmente deberían basarse los cálculos para elaborar el PCR son incorrectos o inexactos, por eso no se tiene confianza en ellos y en realidad el PCR no los utiliza. El PCR entonces no tiene una base técnica, por eso no funciona, lo que trae conflictos.
6. El manejo del reservorio no se basa en el PCR y tampoco corresponde al objetivo para el que se construyó, cual fue distribuir el agua en forma óptima en el tiempo. En realidad, para manejar el reservorio sólo se considera el volumen actual y no el pronóstico hídrico.

Es muy difícil determinar el manejo ideal del reservorio en vista de la ausencia de datos como los coeficientes de riego actuales para determinar la demanda. Un manejo óptimo del reservorio depende de la persistencia en que se basen las probabilidades de descarga del río y los módulos que se deseen emplear para los cultivos.

7. Es posible usar la hoja de cálculo del programa EXCEL (Cuadro 6) a fin de determinar el volumen necesario del reservorio para empezar el riego en un mes con una cantidad determinada de hectáreas de cultivo. En este volumen habría que considerar también la cantidad de agua necesaria para iniciar la próxima campaña. Hay que emplear las probabilidades ya mejoradas para determinar el volumen de agua que se tiene que ahorrar en el reservorio al final de año (esto se determina con el modelo del archivo reservorio.EXCEL).
8. Las alternativas para la elaboración del PCR son:

- ☐ Desarrollarlo con el programa CHANLAMB.
- ☐ Eliminarlo y aplicar la propuesta de la nueva Ley de Aguas.

Aún no es posible desarrollar estas alternativas. Por su parte, CHANLAMB ofrece resultados inconvenientes para los agricultores individuales. Antes de poner en práctica la nueva Ley de Aguas, es necesario que se lleven a cabo investigaciones, que los responsables del manejo del agua se capaciten adecuadamente y que la organización del manejo del agua cambie.

La nueva Ley de Aguas tendrá mucha influencia en la planificación de la campaña agrícola: los usuarios obtienen derecho a una cantidad fija de agua, el PCR puede desaparecer, la distribución del agua cambia y se instala un mercado de aguas.

El manejo del agua sigue teniendo importancia. La cantidad de agua que obtienen los usuarios puede ser aproximadamente de 10,000 m³/ha en un año normal (50% de persistencia) y de 6,000 m³/ha en un año seco (75% de persistencia).

RECOMENDACIONES

Este estudio se permite hacer las siguientes recomendaciones para mejorar la gestión de agua en el valle:

1. La ATDRCH-L y la JUDRCH-L deben explicar a los usuarios y sus Comisiones de Regantes que la campaña agrícola no se planifica sobre la base de un pronóstico, porque no es posible pronosticar la descarga con un año de anticipación.

En lugar de pronósticos tienen que usarse probabilidades de descarga con una persistencia determinada, lo que significa trabajar con un riesgo de déficit de agua específico. Las instituciones que manejan el agua y los usuarios deben discutir qué per-

sistencia quieren emplear y llegar a un acuerdo al respecto.

2. Llevar a cabo un estudio estadístico sobre la elaboración de las probabilidades de descarga para la planificación de la campaña agrícola no solamente en el valle bajo estudio sino a nivel nacional, para así poder mejorar los cálculos de probabilidades.

Un PCR tiene valor si la disponibilidad de agua está bien calculada. En la actualidad los pronósticos son demasiado bajos. Este estudio estadístico tiene que explicar con claridad cómo se pueden usar las probabilidades para planificar el año agrícola y por qué no se puede utilizar probabilidades mensuales.

3. Investigar para obtener información real e importante para la elaboración del PCR sobre coeficientes de riego, pérdidas, disponibilidad de agua subterránea y de recuperación, y disponibilidad de agua en el reservorio.
4. Preparar un procedimiento que explique cómo elaborar un PCR. Éste debe responder preguntas como: ¿Qué tipo de probabilidades se quiere usar? ¿Qué otros datos de insumo se emplearán? ¿Cómo se calculará la demanda? ¿Qué información se registrará durante la campaña (sistema de monitoreo)? ¿Cómo y cuándo se ajustará el PCR en caso se presente una cantidad de agua mayor o menor a la pronosticada?

Las instituciones que manejan o usan el agua tienen que elaborar en conjunto este procedimiento y ponerse de acuerdo sobre él, conocerlo y entenderlo. Las instituciones más importantes para realizar esta tarea son la JUDRCH-L, la ATDRCH-L, la ETECOM S.A., las ex-Cooperativas Agrarias Azucareras de Producción y los productores de arroz. Una vez que el procedimiento esté listo tendrá que ser usado. Y será un instrumento para que aquellas instituciones puedan defender sus decisiones

ante posibles reclamos. Los usuarios tienen derecho a una planificación transparente.

5. Crear un método de evaluación de la campaña agrícola que controle si los datos en que está basada la planificación son acertados y la manera de mejorarlos. También se puede determinar con los datos si se está manejando el agua como se había planificado o si, por el contrario, hay errores, robos, favoritismos, etcétera. Si la planificación está bien hecha, debería ser posible explicar qué sucede con los datos usados en ella. Según los datos oficiales que se emplean en la actualidad para elaborar el PCR, no es posible cultivar arroz, pero en la realidad existen aproximadamente 33,000 ha de arroz; entonces los datos son incorrectos o las cosechas muy bajas.
6. Utilizar las hojas de cálculo del Capítulo V o desarrollar otras similares para investigar cuántas hectáreas aproximadamente se pueden cultivar si se calcula con una persistencia de probabilidades de descarga definida, qué volumen inicial se necesita (agua ahorrada en el reservorio al final del año) y cuándo se puede iniciar la campaña agrícola.
7. Investigar con mayor profundidad las posibilidades de zonificación de cultivos.
8. Desarrollar en convenio con las instituciones que tienen que ver con la gestión del agua en el valle y la cuenca Chancay-Lambayeque, un reglamento que establezca las funciones actuales del Comité de Coordinación.

Las reuniones del Comité de Coordinación deben seguir una agenda, la misma que debe ser conocida anticipadamente por sus miembros. Las propuestas del Administrador Técnico deben ser estudiadas antes de la reunión para que ésta sea fructífera, con la finalidad de mejorar la participación de las organizaciones de usuarios en la toma de decisiones y facilitar este proceso. Asimismo, se tiene que desarrollar un procedimiento transparente de votación y ponerlo en práctica.

SIGLAS Y DEFINICIONES

ATDRCH-L	Administración Técnica del Distrito de Riego Chancay-Lambayeque.
CICAP	Centro de Investigación, Capacitación, Asesoría y Promoción.
DEPOLTI	Dirección Ejecutiva de los Proyectos Olmos y Tinajones.
DEPTI	Dirección Ejecutiva del Proyecto Tinajones.
DGAS	Dirección General de Aguas y Suelos.
DGIS	Dirección General de Cooperación Internacional del Ministerio de Relaciones Exteriores del Reino de los Países Bajos.
ETECOM S.A.	Empresa Técnica de Conservación, Operación y Mantenimiento S.A.
Ha	Hectárea(s).
ICCO	Organización Intereclesiástica para la Cooperación al Desarrollo (Holanda).
IDAL	Instituto de Desarrollo Agrario de Lambayeque.
IMAR	Instituto de Apoyo al Manejo del Agua de Riego-Costa Norte.
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales.
IPROGA	Instituto de Promoción para la Gestión del Agua.
l	litro(s).
m ³	Metros cúbicos.
mmc	Millones de metros cúbicos.
PCR	Plan de Cultivo y Riego
RENOM	Región Nor Oriental del Marañón.
s	Segundo(s).
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SIPLACOM	Sistema de Planificación de Cultivo y Riego basado en Computadora.
SNV	Servicio Holandés para la Cooperación al Desarrollo.

Coefficiente de riego	Volumen de agua que requiere un cultivo por unidad de superficie.
Correlación	Medida que indica si hay una relación entre dos series de datos.
Cuenca hidrográfica	Territorio en el cual todas las aguas confluyen en un mismo río.
CHANLAMB	Sistema de planificación de cultivo y riego basado en computadora en el Distrito de Riego Chancay-Lambayeque.
Descarga básica	Descarga baja que se presenta mucho tiempo después de la lluvia y origina el agua de subsuelo.
Descarga alta	Descarga que se presenta rápida después de la lluvia y que forma el pico de la descarga.
Distrito de riego	Cada una de las demarcaciones establecidas para la distribución y administración de las aguas.
Escurrimiento	Corriente de agua sobre la superficie que va hacia una quebrada, río o lago.
Fuente de agua	Lugar donde se encuentran las aguas y del cual pueden ser derivadas para su utilización.
Hidrogramas unitarios	Hidrogramas referidos a una lluvia uniforme de una altura unitaria de precipitación, caída sobre una cuenca y en un tiempo especificado.

Modelo	Representación simplificada de la realidad.
Modelos conceptuales	Modelos en los que se trata de simular la realidad. Utilizan procesos reales, leyes físicas, muchos datos y abundante conocimiento.
Modelos de caja negra	Modelos en los que sólo importan los resultados. Los procesos físicos o el conocimiento resultan valores que no tienen importancia.
Napas	Masa delimitada de aguas subterráneas.
Probabilidad (de la descarga)	Descarga mínima que se presenta en un porcentaje determinado de años
Pronóstico (de la descarga)	Descarga que se presentará en el futuro.
Sector	Parte de un distrito de riego.
Tiempo de concentración	Tiempo que emplea una gota de agua que cae en el punto hidrológicamente más alejado de la cuenca para llegar a la salida de ésta.
Zonificación	Determinación de los cultivos que se deben sembrar en las distintas áreas.

Actas de las reuniones del Comité de Coordinación de las Campañas 1995-1996 y 1996-1997.

DEPOLTI, Dirección de Estudios

Planificación de cultivo y riego por computadora para el Valle Chancay-Lambayeque. Implementación del modelo CHANLAMB para la planificación de la campaña agrícola 1995-1996. Chiclayo, 1996.

Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial Tinajones (DEPTI), Autoridad Autónoma de la Cuenca Chancay-Lambayeque, Instituto Nacional de Desarrollo-Ministerio de la Presidencia y Junta de Usuarios del Valle Chancay-Lambayeque

Estudio del sistema hídrico Tinajones. Desarrollo agrícola. Tomo I: Situación actual. Chiclayo, 1987.

Hatzius, Th.

Planificación de Cultivo y Riego en Chancay-Lambayeque, Perú. Forschungsstelle für Internationale Agrarentwicklung e.v. Heidelberg y Lehrstuhl für Internationale Entwicklungs-und Agrarpolitik, Universität Heidelberg, Diskussionsschriften, N° 18, 1990.

Hatzius, Th./ SIPLACOM CHANLAMB

Informe final sobre la elaboración de un sistema de planificación de cultivo y riego basado en computadora para el Distrito de Riego Chancay-Lambayeque. Salzgitter Consult GmbH, 1991.

Inoquio Palacios, Marco (Junta de Usuarios); Ricardo Romero Rentería (IDAL), Arturo Solórzano González (DEPOLTI), César Cisneros Chicoma (RENOM), Luis Chinchay Alza (IMAR), Milton Gamarra Rodríguez (IMAR)

Reglamento actualizado del uso del agua del Sistema Tinajones. Chiclayo, 1996.

Instituto de Apoyo al Manejo del Agua de Riego (IMAR-Costa Norte)

Oasis, Revista de las entidades asociadas al IMAR-Costa Norte. Año III, N° 9, Chiclayo, octubre de 1996.

Análisis de la información existente sobre manejo y gestión del agua en la cuenca Chancay-Lambayeque. Chiclayo, 1992.

Análisis de la información existente sobre manejo y gestión del agua en la cuenca baja del río Chancay-Lambayeque. Chiclayo, 1996.

Proyecto «Apoyo al manejo del agua de riego en la cuenca Chancay-Lambayeque, II Fase». Chiclayo, 1996.

Estudio de la eficiencia de riego en el valle Chancay-Lambayeque. Chiclayo, 1997.

Ministerio de Agricultura

Reglamento del Uso de Agua del Sistema de Riego «Tinajones», Manual N° 6, Chiclayo, 1972.

Perisutti, Arno

El distrito de riego regulado Chancay-Lambayeque, Proyecto Tinajones. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Lambayeque, 1984.

Reyes Carrasco, Luis V.

Hidrología básica. Lima: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), 1992.

Salzgitter Consult Gesellschaft MBH

Estudio de Evaluación del Proyecto Tinajones. Organismo de Desarrollo de Lambayeque (ORDELAM).
Dirección Ejecutiva del Proyecto Especial de Irrigación Tinajones, Chiclayo, 1981.

Segura Altamirano, José

Balance de agua en la zona andina de la cuenca Chancay- Lambayeque. Chiclayo, 1995.

Villanueva Olivera, Jesús

Una alternativa de planificación para desarrollar la extensión de riego en el subdistrito de riego regulado Chancay-Lambayeque. Chiclayo, 1985.

EVALUACIÓN DE LOS PRONÓSTICOS HÍDRICOS

PRONÓSTICOS Y APORTES REALES EN DIFERENTES CAMPAÑAS AGRÍCOLAS		
Campaña agrícola	Pronóstico	Aporte de río
80-81	Seco	Húmedo
81-82	Normal*	Normal
82-83	Normal	Muy húmedo**
83-84	Normal	Muy húmedo
84-85	Seco	Normal
85-86	Seco	Normal
86-87	Seco	Húmedo
87-88	Seco	Normal
88-89	Normal	Muy húmedo
89-90	Seco	Normal
90-91	Normal	Húmedo

Fuente: IMAR-Costa Norte, 1992

* Pronóstico al 50% de persistencia.

** Presencia del fenómeno El Niño.

Esta clasificación* se ha hecho con base en lo siguiente:

Año muy húmedo	:	1,200 - 1,560 mmc/año.
Año húmedo	:	900 - 1,200 mmc/año.
Año normal	:	600 - 900 mmc/año.
Año seco	:	400 - 600 mmc/año.
Año muy seco	:	< 320 mmc/año.

* La clasificación de tipo de año que se hace ahora es diferente.

El cuadro muestra que sólo en un año el pronóstico fue correcto y que para el cálculo no se emplearon los datos oficiales sino una probabilidad de 50% de persistencia. (El pronóstico suele ser demasiado bajo).

ANEXO 2

AGUA DE RECUPERACIÓN

La recuperación fue medida sólo en el caso del río Reque en el período comprendido entre 1956-1960 (antes del funcionamiento de los túneles Chotano y Conchano). La cantidad promedio de agua de recuperación (R) en esos años fue de 49 mmc con la siguiente distribución (en mmc):

Mes	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
R	4,5	4,0	4,1	3,5	3,4	3,7	3,6	4,2	3,6	4,6	4,5	5,0

MÉTODO DE LA DGAS PARA CALCULAR LAS PROBABILIDADES

La DGAS utiliza las descargas del período 1960-1997 para calcular sus probabilidades mensuales.

CUADRO 1
DESCARGAS MENSUALES Y SUMAS DE LAS DESCARGAS MEDIDAS EN LA BOCATOMA RACA RUMI

Años	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Total
59-60	18.6	11.6	25.2	34.5	46.9	56.8	103.1	100.5	140.2	125.3	39.4	23.5	725.6
60-61	18.1	16.8	18.6	28.2	39.8	79.1	69.5	85.9	125.5	104.6	51.5	26.5	664.1
61-62	15.4	13.4	14.7	16.7	41.3	80.9	187.7	156.6	191.8	76.3	35.1	22.6	852.5
62-63	15.6	12.3	12.2	17.7	14.9	18.7	14.7	106.7	104.1	49.5	17.4	11.8	395.6
63-64	9.3	8.2	20.5	37.8	78.1	103.4	112.2	106.5	165.5	84.5	42.1	28.8	796.9
64-65	30.5	27.6	61.2	106.7	45.0	52.7	55.8	157.2	172.8	83.0	35.1	27.4	855.0
65-66	15.5	22.6	52.5	98.4	46.9	103.3	47.6	62.1	86.8	106.4	36.9	21.2	700.2
66-67	14.5	14.1	78.5	64.4	29.2	117.9	171.5	158.8	87.1	66.7	32.1	23.3	858.1
67-68	14.2	11.3	58.3	36.9	30.0	25.3	30.2	84.7	43.7	31.2	15.5	13.7	395.0
68-69	14.8	37.9	104.6	48.8	18.6	52.6	76.9	150.5	236.2	68.4	55.5	26.9	891.7
69-70	20.7	19.5	33.9	74.3	135.6	104.4	52.6	114.3	119.1	191.1	67.4	34.9	967.8
70-71	20.9	29.5	91.7	88.5	137.0	124.8	145.5	438.9	256.2	118.7	78.9	47.6	1,578.2
71-72	53.2	48.6	118.9	97.0	106.4	111.2	68.9	334.9	166.1	93.5	51.5	37.7	1,287.9
72-73	25.9	23.6	35.1	38.8	61.8	65.6	63.2	146.9	337.1	133.0	79.3	59.9	1,070.2
73-74	49.7	87.7	89.7	107.4	75.7	111.8	165.9	145.0	104.9	77.6	57.3	38.4	1,111.1
74-75	29.6	43.8	115.5	70.3	81.4	142.5	181.4	447.5	305.1	155.7	82.6	62.4	1,717.8
75-76	39.1	73.3	140.7	78.9	36.2	105.4	129.4	201.1	173.2	95.3	75.9	30.7	1,179.2
76-77	22.0	16.1	13.9	15.2	19.4	72.0	216.0	213.1	158.6	95.6	57.9	33.4	933.2
77-78	20.9	19.9	25.3	45.4	75.4	32.0	34.0	69.6	98.7	117.2	46.9	28.7	614.0
78-79	17.8	22.9	19.6	39.8	47.8	65.9	53.6	267.7	108.6	90.6	45.5	30.9	810.7
79-80	23.0	42.0	21.2	14.7	13.1	14.8	34.7	61.9	72.4	38.4	25.1	13.8	375.1
80-81	10.5	6.9	62.4	94.4	95.5	36.6	174.2	171.6	131.0	46.7	56.7	32.0	918.5
81-82	19.6	14.6	52.8	69.4	81.2	57.8	87.9	70.0	125.3	107.4	54.4	31.6	772.0
82-83	17.2	24.6	96.0	81.0	192.9	204.4	106.5	313.7	301.9	197.6	85.1	38.1	1,659.0
83-84	20.6	33.5	35.0	26.8	85.1	45.5	298.8	324.5	191.9	179.7	76.1	72.7	1,390.2
84-85	33.3	37.8	120.8	58.4	67.1	40.2	44.0	73.9	54.6	40.4	23.6	14.6	608.7
85-86	17.7	21.2	51.9	19.9	44.6	90.4	106.9	81.2	248.6	131.1	46.6	31.7	891.8
86-87	31.3	20.1	37.7	94.9	83.5	222.2	174.7	107.1	82.6	75.3	30.7	24.6	984.7
87-88	34.9	32.5	36.6	53.0	39.5	96.4	171.4	97.8	146.1	102.6	53.5	29.3	893.6
88-89	21.7	24.1	45.9	91.8	46.5	182.9	260.2	254.7	259.1	84.1	41.6	25.1	1,337.7
89-90	15.5	27.5	101.6	51.6	28.1	20.2	69.7	60.5	96.9	79.9	77.4	36.1	665.0
90-91	19.3	13.3	70.5	78.8	95.9	37.4	65.5	224.5	152.3	127.5	37.0	22.3	944.3
91-92	14.8	10.7	14.6	22.4	33.7	69.3	38.8	96.0	161.8	91.6	50.8	23.7	628.2
92-93	14.3	22.5	47.3	33.6	21.9	34.8	158.4	347.0	307.9	163.6	68.8	33.9	1,254.0
93-94	20.0	21.2	75.1	129.1	78.3	183.6	198.3	263.8	234.6	99.7	50.6	27.3	1,381.6
94-95	15.5	10.6	12.6	49.1	79.8	40.0	119.8	119.4	133.4	68.1	31.9	19.9	700.1
95-96	11.3	12.9	37.5	105.0	110.5	130.5	183.9	264.3	196.2	92.3	46.7	16.3	1,207.4
96-97	11.9	13.7	65.0	60.0	17.6	15.1	140.7	86.7	84.2	48.3	25.2	13.2	581.6
Prom.	21.5	25.0	55.7	60.0	62.7	82.9	116.2	172.8	162.2	98.4	49.6	29.9	936.8
Máx.	53.2	87.7	140.7	129.1	192.9	222.2	298.8	447.5	337.1	197.6	85.1	72.7	1,717.8
Min.	9.3	6.9	12.2	14.7	13.1	14.8	14.7	60.5	43.7	31.2	15.5	11.8	375.1

En el Cuadro de la página precedente se aprecia que la descarga máxima de agosto es de 53.2 y la de enero de 222.2 mmc. A su vez, las descargas mínimas de estos meses son 9.3 mmc y 14.8 mmc, respectivamente.

El primer paso del método de la DGAS para calcular las probabilidades de la descarga es ordenarlas en forma decreciente. En el Cuadro 2 de este mismo anexo se ha colocado la descarga máxima de cada mes en la parte superior (m = Número 1 y así sucesivamente hasta que la descarga mínima se coloca en el número 38).

En dicho cuadro sólo deben considerarse las columnas porque las filas no tienen relación. Por ejemplo, la descarga máxima de agosto (53,2 mmc) se presentó en 1971 y la de enero (222 mmc) en 1987. Las descargas en una fila no corresponden al mismo año.

Las sumas de las descargas de los años del Cuadro 1 también figuran ordenadas en forma decreciente en el Cuadro 2. La más alta, 1,717.8, que corresponde a la campaña 1974-1975, aparece en la fila número 1 en el Cuadro 2, del mismo modo que las descargas de los meses. La columna TOTAL no muestra la suma total de los datos contenidos en cada fila, sino las sumas reales de las descargas de los años ordenadas en forma decreciente.

Para calcular la probabilidad (P) de que se presente una descarga con un número « m » determinado se usa la fórmula de Weibull:

$$P = \frac{m}{1 + n} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- P = Probabilidad de que la descarga sea igual o mayor a la descarga con número m (%).
- m = Número de orden.
- n = Número total (en este caso 38).

Las probabilidades también se muestran en el Cuadro 2.

Ejemplo basado en el Cuadro 2: La probabilidad de que la descarga de agosto sea mayor que el dato número 1 (53.2 mmc) si se utiliza la fórmula (1) es: $P = m / (1 + n) = 1 / (38 + 1) = 1 / 39 = 0.0256 = 2,6\%$.

Otro ejemplo: La probabilidad de que la descarga sea mayor que 20 mmc en agosto es de 44%.

Con los resultados se dibuja un gráfico. En el eje de equis aparecen las probabilidades y en el de las ordenadas (y), las descargas. Se busca la función óptima para los puntos con el método de los cuadrados mínimos; esta función es exponencial y tiene la forma de:

$$Q = \exp [B + (A * f)] = e^{[B + (A * f)]} \quad (2)$$

Donde:

- Q = Descarga promedio de un mes (mmc).
- A y B = Coeficientes.
- f = Porcentaje de persistencia (%).

Con esta curva se puede calcular la descarga con 50%, 75% y 90% de persistencia mensual. La curva (función) se calcula para cada mes por separado. La del mes de enero aparece en el Cuadro 1. Para los otros meses los coeficientes se muestran en el Cuadro 3. La DGAS realiza estos cálculos con el programa BANDGAS (Banco de Datos de la Dirección General de Aguas y Suelos). Este programa es desarrollado por Hidro Data Ingenieros S.R.L. de Lima.

CUADRO 2
DESCARGAS ORDENADAS DEL PERÍODO 1960-1997 Y SUS PROBABILIDADES (Fórmula 1)

m	P (%)	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Total
1	2.56	53.2	87.7	140.7	129.1	192.9	222.2	298.8	447.5	337.1	197.6	85.1	72.7	1,717.8
2	5.128	49.7	73.3	120.8	107.4	137.0	204.4	260.2	438.9	307.9	191.1	82.6	62.4	1,659.0
3	7.69	39.1	48.6	118.9	106.7	135.6	183.6	216.0	347.0	305.1	179.7	79.3	59.9	1,578.2
4	10.256	34.9	43.8	115.5	105.0	110.5	182.9	198.3	334.9	301.9	163.6	78.9	47.6	1,390.2
5	12.82	33.3	42.0	104.6	98.4	106.4	142.5	187.7	324.5	259.1	155.7	77.4	38.4	1,381.6
6	15.38	31.3	37.9	101.6	97.0	95.9	130.5	183.9	313.7	256.2	133.0	76.1	38.1	1,337.7
7	17.95	30.5	37.8	96.0	94.9	95.5	124.8	181.4	267.7	248.6	131.1	75.9	37.7	1,287.9
8	20.51	29.6	33.5	91.7	94.4	85.1	117.9	174.7	264.3	236.2	127.5	68.8	36.1	1,254.0
9	23.08	25.9	32.5	89.7	91.8	83.5	111.8	174.2	263.8	234.6	125.3	67.4	34.9	1,207.4
10	25.64	23.0	29.5	78.5	88.5	81.4	111.2	171.5	254.7	196.2	118.7	57.9	33.9	1,179.2
11	28.21	22.0	27.6	75.1	81.0	81.2	105.4	171.4	224.5	191.9	117.2	57.3	33.4	1,111.1
12	30.77	21.7	27.5	70.5	78.9	79.8	104.4	165.9	213.1	191.8	107.4	56.7	32.0	1,070.2
13	33.33	20.9	24.6	65.0	78.8	78.3	103.4	158.4	201.1	173.2	106.4	55.5	31.7	984.7
14	35.90	20.9	24.1	62.4	74.3	78.1	103.3	145.5	171.6	172.8	104.6	54.4	31.6	967.8
15	38.46	20.7	23.6	61.2	70.3	75.7	96.4	140.7	158.8	166.1	102.6	53.5	30.9	944.3
16	41.03	20.6	22.9	58.3	69.4	75.4	90.4	129.4	157.2	165.5	99.7	51.5	30.7	933.2
17	43.59	20.0	22.6	52.8	64.4	67.1	80.9	119.8	156.6	161.8	95.6	51.5	29.3	918.5
18	46.15	19.6	22.5	52.5	60.0	61.8	79.1	112.2	150.5	158.6	95.3	50.8	28.8	893.6
19	48.72	19.3	21.2	51.9	58.4	47.8	72.0	106.9	146.9	152.3	93.5	50.6	28.7	891.8
20	51.28	18.6	21.2	47.3	53.0	46.9	69.3	106.5	145.0	146.1	92.3	46.9	27.4	891.7
21	53.85	18.1	20.1	45.9	51.6	46.9	65.9	103.1	119.4	140.2	91.6	46.7	27.3	858.1
22	56.41	17.8	19.9	37.7	49.1	46.5	65.6	87.9	114.3	133.4	90.6	46.6	26.9	855.0
23	58.97	17.7	19.5	37.5	48.8	45.0	57.8	76.9	107.1	131.0	84.5	45.5	26.5	852.5
24	61.54	17.2	16.8	36.6	45.4	44.6	56.8	69.7	106.7	125.5	84.1	42.1	25.1	810.7
25	64.10	15.6	16.1	35.1	39.8	41.3	52.7	69.5	106.5	125.3	83.0	41.6	24.6	796.9
26	66.67	15.5	14.6	35.0	38.8	39.8	52.6	68.9	100.5	119.1	79.9	39.4	23.7	772.0
27	69.23	15.5	14.1	33.9	37.8	39.5	45.5	65.5	97.8	108.6	77.6	37.0	23.5	725.6
28	71.79	15.5	13.7	25.3	36.9	36.2	40.2	63.2	96.0	104.9	76.3	36.9	23.3	700.2
29	74.36	15.4	13.4	25.2	34.5	33.7	40.0	55.8	86.7	104.1	75.3	35.1	22.6	700.1
30	76.92	14.8	13.3	21.2	33.6	30.0	37.4	53.6	85.9	98.7	68.4	35.1	22.3	665.0
31	79.49	14.8	12.9	20.5	28.2	29.2	36.6	52.6	84.7	96.9	68.1	32.1	21.2	664.1
32	82.05	14.5	12.3	19.6	26.8	28.1	34.8	47.6	81.2	87.1	66.7	31.9	19.9	628.2
33	84.62	14.3	11.6	18.6	22.4	21.9	32.0	44.0	73.9	86.8	49.5	30.7	16.3	614.0
34	87.18	14.2	11.3	14.7	19.9	19.4	25.3	38.8	70.0	84.2	48.3	25.2	14.6	608.7
35	89.74	11.9	10.7	14.6	17.7	18.6	20.2	34.7	69.6	82.6	46.7	25.1	13.8	581.6
36	92.31	11.3	10.6	13.9	16.7	17.6	18.7	34.0	62.1	72.4	40.4	23.6	13.7	395.6
37	94.87	10.5	8.2	12.6	15.2	14.9	15.1	30.2	61.9	54.6	38.4	17.4	13.2	395.0
38	97.44	9.3	6.9	12.2	14.7	13.1	14.8	14.7	60.5	43.7	31.2	15.5	11.8	375.1
Prom.		21.5	25.0	55.7	60.0	62.7	82.9	116.2	172.8	162.2	98.4	49.6	29.9	936.8

CUADRO 3
COEFICIENTES PARA LAS CURVAS (Fórmula 2) Y CORRELACIÓN (R) ENTRE LA CURVA Y LOS DATOS

	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
a	-0.013431	-0.019493	-0.025054	-0.021266	-0.022771	-0.024708	-0.023682	-0.020508	-0.016868	-0.014837	-0.014408	-0.013904
b	3.6573	4.0237	5.0438	4.9938	5.0794	5.4286	5.7352	6.0054	5.8210	5.2425	4.5445	4.0084
r	-0.8748	-0.8446	-0.9708	-0.9922	-0.9307	-0.9511	-0.9703	-0.9320	-0.9670	-0.9551	-0.9852	-0.8909

Para las persistencias mensuales de 50%, 75% y 90% los pronósticos aparecen en el Cuadro 2 del Capítulo II.

Por ejemplo, la probabilidad de 50% de persistencia en agosto es:

$$Q = \exp [B + (A * f)] = \exp. (3.6573) + (-0.10143 * 50)] = 1g.\delta$$

La correlación (r) sirve para medir la calidad de la curva. Si ésta es 1 o -1, todas las puntas aparecen exactamente en la curva. Si la correlación es igual a 0, no hay una relación entre la curva y los puntos. La correlación en los casos presentados en el Cuadro 3 es de 0.9 o mayor, entonces las curvas son buenas representaciones de los puntos.

MÉTODO PARA CALCULAR LAS PROBABILIDADES CON BASE EN LOS DATOS DEL PERÍODO 1927-1997

Para poder utilizar los datos desde 1927 hasta la actualidad, en primer lugar es necesario hacerlos comparables. Solamente lo serán si se trata de datos de la misma región. Por ello se ha restado las descargas que llegan a través de los túneles de las descargas totales medidas en la Bocatoma Raca Rumi. De estas descargas se ha calculado las probabilidades para el período 1927-1997 de sólo el río Chancay.

En segundo lugar, es preciso calcular las probabilidades de las descargas de parte de las cuencas Chotano y Conchano (que forman el trasvase) con base en los informes de los años comprendidos en los períodos 1960-1997 y 1983-1997 respectivamente. Sólo si los tipos de clima (húmedo, seco o normal) en las diferentes cuencas corresponden entre sí, por ejemplo, un período seco en la cuenca Chancay significa automáticamente un período seco en las del Conchano y Chotano, se puede sumar las probabilidades de las diferentes cuencas.

Para determinar si es correcto sumar las probabilidades se han calculado las correlaciones entre las descargas de las cuencas Chancay y Chotano. Esta correlación es solamente de 0.49, lo que quiere decir que un año seco en el río Chancay no significa automáticamente un año seco en el río Chotano y por lo tanto sumar los datos de las descargas de las cuencas diferentes daría origen a un error.

Los errores producto de sumar las cuencas no conforman una parte muy grande de la descarga total, porque las descargas del río Chancay son mayores que las del trasvase. Es más seguro tomar los datos de los años comprendidos entre 1927-1997 y cometer una pequeña equivocación, que tomar sólo los datos de 1983-1997. En la investigación se ha trabajado con la información del período 1927-1997 y se ha sumado las probabilidades de las descargas de las tres cuencas.

LAS DIFERENTES PROBABILIDADES

CUADRO 1
DIFERENCIAS ENTRE LAS PROBABILIDADES DE 75%
DE PERSISTENCIA MENSUAL CALCULADAS DE DIVERSAS FORMAS

Mes	P1	P2	P3
Ago.	14.2	13.8	14.8
Set.	13.0	13.6	12.9
Oct.	23.7	26.4	25.4
Nov.	29.9	32.2	27.7
Dic.	29.1	30.9	30.9
Ene.	35.7	30.2	38.9
Feb.	52.4	71.3	56.4
Mar.	87.1	84.5	93.6
Abr.	95.2	96.7	108.2
May.	62.2	63.5	69.7
Jun.	31.9	31.6	35.0
Jul.	19.4	17.7	516.5
Suma	495.6	513.3	535.9
Total	636.4	689.3	710.8

P1: Probabilidades de descarga calculadas por la DGAS con base en el período 1960-1997, sin considerar los cambios que produjo la construcción del túnel Conchano en 1983.

P2: Probabilidades de descarga calculadas sobre la base del período 1983-1997.

P3: Probabilidades de descarga calculadas tomando como base el período 1927-1997, considerando las descargas corregidas. El método utilizado aparece en el Anexo 4.

Las probabilidades que se basan en los años comprendidos entre 1983 hasta 1997 (P2) son mayores que las basadas en los años 1960 hasta 1997 (P1) en la mayoría de los meses. Esto resulta lógico porque en el período 1960-1983 no existía aún el túnel Conchano, lo que explica que las descargas fueran menores que las que se presentaron después de 1983.

Las probabilidades calculadas con los datos de 1927-1997 (P3) incluyen las descargas del trasvase y de la década de 1970-1980 en la que muchas veces la descarga fue muy alta. Por ello en la mayoría de meses las probabilidades de descarga son mayores que las calculadas con los otros métodos (P1 y P2).

Las probabilidades con 75% de persistencia mensual son bajas. Para la planificación de la campaña en el Valle Chancay-Lambayeque se recomienda usar las probabilidades mensuales con una persistencia de 60% mensual o la probabilidad de 75% de persistencia anual, la cual se puede distribuir entre los diferentes meses del mismo modo como se distribuyen los promedios de las descargas.

Las diferencias entre las probabilidades se muestran en el Cuadro 3 del Capítulo II.

CUADRO 2
PROBABILIDADES DE LAS DESCARGAS DE 50, 75, 90 Y 60% DE PERSISTENCIA MENSUAL*

Mes	50%	75%	90%	60%	75 año
Ago.	21,1	14,8	12,0	18,3	15,8
Set.	21,9	12,9	9,4	17,7	16,7
Oct.	47,5	25,4	17,6	36,9	39,5
Nov.	50,7	27,7	19,3	39,7	43,2
Dic.	55,0	30,9	21,9	43,6	42,8
Ene.	71,4	38,9	27,1	56,0	64,7
Feb.	101,7	56,4	39,7	80,3	103,9
Mar.	155,3	93,6	69,1	126,8	124,8
Abr.	160,6	108,2	85,5	137,1	126,0
May.	102,4	69,7	55,3	87,8	75,5
Jun.	51,0	35,0	28,0	43,9	35,8
Jul.	30,5	21,6	17,7	26,6	22,0
Suma**	869,1	535,2	402,7	714,6	710,8
Total***	955,3	710,8	595,5	848,6	

* Calculadas con las descargas basadas en el período 1927-1997 (corregidas con el método que aparece en el Anexo 4) y la descarga con una persistencia de 75% anual distribuida sobre los meses del mismo modo como se distribuyen los promedios.

** Suma de las probabilidades de los meses.

*** Probabilidad con la persistencia anual (%) mencionada en la parte superior de cada columna.

ANEXO 6

LAS CAMPAÑAS 1995-1996 Y 1996-1997

Las campañas 1995-1996 y 1996-1997 muestran con claridad meridiana los problemas que se presentan en el PCR. La fuente de información sobre dichas campañas son las actas de las reuniones del Comité de Coordinación.

Para la campaña 1995-1996 los agricultores solicitaron aproximadamente 30,000 ha de arroz y 6,800 ha de algodón. Si se emplea la información de las solicitudes y de la disponibilidad de agua, el balance fue como sigue:

Solicitada (mmc)		Disponibilidad de agua (mmc)	
Nivel de Comisiones	632	Agua de recuperación	50
Ex-Cooperativas	348**	Pronóstico de 75%	497*
Industria, población	65	Agua subterránea	150**
Pérdidas 25%	261	Volumen del reservorio	53
Total	1,307	Total	749

* Este pronóstico correspondía a toda la campaña comprendida entre los meses de agosto y julio. La reunión del Comité de Coordinación tuvo lugar el 6 del noviembre de 1995, cuando ya habían transcurrido cuatro meses de su inicio. El pronóstico para el periodo noviembre-julio tiene que ser menor que el correspondiente a toda la campaña. Es obvio que para esa fecha la descarga de los meses de agosto hasta octubre ya se había utilizado o estaba considerada en el balance como parte del volumen del reservorio.

** La demanda de las ex-Cooperativas Agrarias Azucareras es aproximadamente de 348/25,000 ha = 14,000 m³/ha; la caña necesita 20,000 m³/ha, entonces las ex-Cooperativas tienen que extraer 6,000 m³/ha de agua del subsuelo. Esta última cifra (6,000 m³) multiplicada por 25,000 ha es igual a 150 mmc. La demanda de caña se ha reducido considerando que para este cultivo una parte de agua se extrae del subsuelo. Esta agua también está incluida en la disponibilidad total del recurso. En este cálculo el agua del subsuelo se toma en cuenta dos veces.

La diferencia entre la oferta y la demanda (déficit) era de 558 mmc, por eso el Administrador Técnico planteó reducir el 20% de las hectáreas de algodón para los agricultores que tuvieran de 3 a 10 hectáreas y el 30% para aquellos con más de 10 hectáreas. El Comité de Coordinación discutió al respecto sin saber la cantidad total de usuarios que poseen más de 10 hectáreas y cuántas hectáreas en total deberían reducirse, pero al final se concluyó que los agricultores con 0-10 hectáreas podían cultivar el 100% de lo programado y los que poseían más de 10 ha cultivarían el 80%. Esta disposición fue fruto de un proceso de negociaciones, no fue una decisión técnica.

En el caso del arroz se aprobó lo siguiente (propuesta del Administrador Técnico):

Los agricultores

- con 0-3 ha pueden cultivar el 100%.
- con 3-4 ha pueden cultivar 3 hectáreas.
- con 4-6 ha pueden cultivar el 80%.
- con 6-7 ha pueden cultivar 4.8 hectáreas.
- con 7-10 ha pueden cultivar el 70%.
- con 10-12 ha pueden cultivar el 60%.

Los arroceros de Chongoyape pueden cultivar el 100%.

En la siguiente reunión (27 de noviembre de 1995), el Administrador Técnico presentó el balance con las hectáreas aprobadas (25,000 ha de arroz y 6,500 ha de algodón), que es como sigue:

Demanda de agua (mmc)	
Población e industria	66
Cultivos permanentes	566
Cultivos estacionales	522
Pérdidas 25%	288
Total	1,442***

Disponibilidad de agua (mmc)	
Pronóstico del río (75%)	497*
Agua subterránea	125**
Agua de recuperación	44**
Volumen del reservorio	97
Total	763

* Se calcula con un pronóstico de descarga anual de 496 mmc, aunque ya habían pasado cuatro meses desde el inicio de campaña.

** La información sobre disponibilidad de agua del subsuelo y de recuperación ha cambiado desde la última reunión del 6 de noviembre.

*** La demanda se incrementó hasta 1,442 mmc. Aunque las hectáreas de arroz y algodón se habían reducido, la demanda aprobada fue mayor que la solicitada, lo cual es ilógico. La causa de ello es que en este cálculo del balance se considera el agua del subsuelo sólo una vez, no como en la reunión del 6 de noviembre en que erróneamente se consideró dos veces.

El déficit del balance presentado en esta reunión era de 680 mmc (1,442 - 762). Se tenía que trabajar con ese déficit porque ya se ha aprobado una cantidad determinada de hectáreas de arroz y algodón en la reunión anterior, cuando aún no se conocía con exactitud el balance basado en la cantidad de hectáreas aprobadas.

El año agrícola 1995-1996 fue muy húmedo; su descarga fue de 1,207 mmc, por lo que no se presentó ningún problema de escasez.

Claro está que la cantidad de hectáreas aprobadas no se fundamentó en el pronóstico hídrico sino, por el contrario, en las negociaciones de la reunión previa. El Comité sabe por experiencia que los pronósticos siempre son bajos, que es posible cultivar arroz con una menor cantidad de agua que la que se supone es necesaria según el módulo establecido (14,000 m³/ha) y también que los usuarios no aceptarán la aprobación de muy pocas hectáreas de cultivo, por eso el número de hectáreas a ser aprobadas no se reducen hasta la cantidad que resulte en una demanda igual a la disponibilidad de agua (déficit = 0 mmc).

El Anexo 7 muestra las hectáreas solicitadas, aprobadas y ejecutadas en el mes de junio de aquella campaña. Las hectáreas ejecutadas normalmente son mucho mayores que las aprobadas. En esta campaña se sembraron 35,000 ha de arroz porque había suficiente agua y no se presentó ninguna denuncia. Aunque existía gran cantidad de agua disponible, ésta no era suficiente para la demanda aprobada (1,442 mmc), entonces aún en ese año tan húmedo no fue posible usar los coeficientes de riego en que estaba basado el PCR. Una investigación de los coeficientes de riego reales sería muy útil para la planificación de la campaña.

En las actas de las reuniones del Comité de Coordinación no aparece exactamente el número de hectáreas aprobadas, ni cuál fue la demanda solicitada y aprobada en la campaña 1996-1997. Dichas actas muestran que el Comité supuso que vendría un año húmedo. ¿Por qué pensaron esto? ¿Quizá porque el reservorio estaba lleno o tal vez porque la descarga de setiembre era alta? Ninguna de dichas razones se relaciona con el hecho de que el año sea húmedo, normal o seco, pues eso no se puede pronosticar.

Pero durante esa campaña la descarga fue muy baja a causa del clima no por culpa del Comité. En enero la descarga fue tan pequeña que se tuvo que cortar totalmente el riego de los cultivos. Ello provocó el desastre de la cosecha de arroz en el valle, como ocurrió en Ferreñafe. Quizás con un mejor mane-

jo del agua y un mayor conocimiento de las probabilidades de descarga y de los riesgos de déficit se podría manejar el agua en forma más eficiente y reducir los daños en la producción.

El Comité, como siempre lo hace, aprobó en esa campaña más hectáreas que las que sería posible aprobar según el pronóstico, lo cual es lógico si tomamos en cuenta la presión de los usuarios, la desconfianza en el pronóstico y la plenitud del reservorio. Fue mala suerte que el mes de enero se presentara demasiado seco.

Si el Comité pudiera hacer la planificación sobre la base de una probabilidad con un riesgo determinado, con coeficientes de riego correctos y si además existiera claridad sobre el procedimiento de elaboración del PCR, se podrían prevenir conflictos en el valle y otros serían los resultados.

El Administrador Técnico calculó el próximo balance de agua de la campaña 1996-1997 como sigue:

Disponibilidad de agua (m ³)	
Aporte del río (promedio)	1,002*
Agua de recuperación (1.7 m ³ /s)	53
Agua subterránea (30% del riego de caña tradicional de Coop.)	150
Total	1,205

Demanda de agua (m ³)	
Agrícola superficial	53**
Agrícola subterránea	150**
Poblacional + industrial	68
Pérdidas (25%)	268
Total	1,339

* El PCR no se basó en el pronóstico del 75% de persistencia de la DGAS (que casi siempre es demasiado bajo) sino en el promedio de las descargas que es mucho más alto que el pronóstico porque se pensó que vendría un año húmedo.

** Estos datos están calculados con coeficientes de riego nuevos no oficiales (Anexo 8, cuadro 2).

El déficit de ese año agrícola fue de 134 m³. Es lógico aprobar una campaña si el déficit es 0, pero en la realidad en el valle siempre se trabaja con un déficit.

Una evaluación de la campaña solamente consiste en cuadros con áreas solicitadas, aprobadas y ejecutadas. Según estos cuadros, el año 1996-1997 fue bueno, pues señalan que se cultivaron 30,000 ha de arroz, pero no muestran información sobre la cosecha. No es posible encontrar en ellos que la mayor parte del arroz cultivado se perdió. La cosecha debería ser el aspecto más importante en la evaluación de la campaña agrícola. Entonces, si los agricultores quieren una buena evaluación tienen que proporcionar información sobre sus cosechas.

Es necesario mejorar la planificación de la campaña agrícola o de lo contrario sería mejor eliminar el PCR y buscar otra alternativa en el proyecto de nueva Ley de Aguas (Capítulo VI).

ÁREAS APROBADAS Y SOLICITADAS EN LAS CAMPAÑAS 1995-1996 Y 1996-1997

Cultivos	Áreas Mes de enero (ha)			Áreas Mes de febrero (ha)			Áreas Mes de marzo (ha)		
	Solic.	Aprob.	Eject.	Solic.	Aprob.	Eject.	Solic.	Aprob.	Eject.
Caña de azúcar (agua sup.)	29,342.54	28,592.69	29,574.81	29,342.54	28,592.69	2,9087.28	29,342.54	28,691.76	29,420.64
Caña de azúcar (agua subt.)	936.82	1,941.47	170.84	936.82	1,941.47	1,813.36	936.82	1,920.97	1,874.36
Pastos	2,953.67	4,749.86	2,238.75	2,953.67	4,749.86	3,156.56	2,953.67	4,749.86	3,324.81
Frutales, flores, espárragos	138.56	787.74	190.64	138.56	787.74	226.51	138.56	787.74	226.51
Algodón	6,802.85	7,724.33	7,087.73	6,802.85	7,727.33	7,360.71	6,802.85	7,758.15	7,360.71
Arroz transplante	29,206.55	23,763.82	5,116.34	29,206.55	26,444.46	34,011.26	29,206.55	30,275.29	36,320.01
Maíz amarillo duro	3,841.43	3,948.14	894.26	3,841.43	3,948.14	1,832.86	3,841.43	3,957.84	3,773.90
Sorgo granífero	13.98	20.78	4.50	13.98	20.78	7.25	13.98	20.78	7.25
Maíz amiláceo blanco	168.92	189.42	86.50	168.92	189.42	111.25	168.92	244.92	301.08
Camote	76.17	75.07	73.50	76.17	75.07	89.50	76.17	75.07	125.00
Yuca	151.65	208.93	147.00	151.65	208.93	158.36	151.65	210.93	168.96
Hortalizas	390.46	398.54	882.30	390.46	398.54	929.30	390.46	398.54	1,353.50
Tabaco	0.00	0.00	113.11	0.00	0.00	113.49	0.00	0.00	155.49
Menestras	1,681.41	1,692.09	1,518.53	1,681.41	1,692.09	1,767.78	1,681.41	1,692.09	2,516.03
Pepino	120.09	136.86	0.00	120.09	136.86	23.50	120.09	137.86	91.70
Otros cultivos	37.95	26.20	77.50	37.95	26.20	77.50	37.95	25.20	80.50
Total	75,863.05	74,255.94	48,176.31	75,863.05	76,939.58	80,766.47	75,863.05	80,947.00	87,100.45

Cultivos	Áreas Mes de abril (ha)			Áreas Mes de mayo (ha)			Áreas Mes de junio (ha)		
	Solic.	Aprob.	Eject.	Solic.	Aprob.	Eject.	Solic.	Aprob.	Eject.
Caña de azúcar (agua sup.)	29,342.54	28,691.76	29,420.64	29,342.54	28,691.76	29,383.97	29,342.54	28,691.76	29,383.97
Caña de azúcar (agua subt.)	936.82	2,072.61	1,910.36	936.82	2,072.61	1,910.36	936.82	2,072.61	1,929.46
Pastos	2,953.67	4,764.48	3,428.31	2,953.67	4,768.23	3,548.31	2,953.31	4,768.23	3,631.31
Frutales, flores, espárragos	138.56	789.49	226.51	138.56	789.49	226.51	138.56	789.49	226.51
Algodón	6,802.85	7,804.70	7,360.71	6,802.85	7,807.45	7,360.71	6,802.85	7,807.45	7,360.71
Arroz transplante	29,206.55	30,415.28	35,200.76	29,206.55	30,491.07	35,200.76	29,206.55	30,491.07	35,200.76
Maíz amarillo duro	3,841.43	4,083.48	4,840.33	3,841.43	4,087.03	5,388.54	3,841.43	4,087.03	5,426.29
Sorgo granífero	13.98	20.78	13.95	13.98	20.78	13.95	13.98	20.78	13.95
Maíz amiláceo blanco	168.92	248.92	479.08	168.92	248.92	507.08	168.92	248.92	524.08
Camote	76.17	75.07	183.00	76.17	75.07	222.00	76.17	75.07	259.00
Yuca	151.65	210.93	189.51	151.65	210.93	189.51	151.65	210.93	189.51
Hortalizas	390.46	398.54	1,415.50	390.46	398.54	1,504.75	390.46	398.54	1,555.25
Tabaco	0.00	0.00	163.24	0.00	0.00	163.24	0.00	0.00	163.24
Menestras	1,681.41	1,701.09	3,082.70	1,681.41	1,701.09	3,565.87	1,681.41	1,701.09	3,759.37
Pepino	120.09	138.86	148.30	120.09	138.86	148.30	120.09	138.86	148.30
Otros cultivos	37.95	25.20	243.00	37.95	25.20	253.50	37.95	25.20	98.00
Total	75,863.05	81,441.90	88,305.90	75,863.05	81,527.03	89,587.36	75,863.05	81,527.03	89,869.71

ÁREAS SOLICITADAS-APROBADAS-EJECUTADAS A NIVEL DEL VALLE DE CHANCAY-LAMBAYEQUE

MES: JUNIO 1997

Subsector de riego	Área	Caña Superf.	Subterrá.	Pastos	Frutas, flores, esparr.	Algodón	Semilla*	Arroz Transp.	Maíz amarillo duro	Maíz amilac. blanco	Camote	Yuca	Hortaliz.	Tabaco	Menest.	Pepino	Otros	Total
Chongoyape	S	544.59	69.50		1.30	40.00		1,204.58	466.73			6.44						2,333.18
	A	664.54	72.50		1.84	40.00		1,204.58	433.93			6.44						2,423.83
	E	711.00	127.60			28.75	47.46	1,011.73	486.29			0.31	22.00	46.88	540.83		35.31	3,010.70
	D	-(46.46)	-(55.10)		(1.84)	(11.26)	-(47.46)	(192.85)	-(52.36)			(613)	-(22.00)	-(46.88)	-(540.83)		-(35.31)	-(586.87)
La Ramada	S							266.00										266.00
	A							266.00										266.00
	E						33.60	239.59	890									248.49
	D						-(33.60)	(26.41)	-(8.90)									(17.51)
Reque	S	186.99		123.32	4.10	1.00			9.75	2.25	16.75	4.00	72.37		1.25	0.50		548.63
	A	14.25	129.80	120.82	4.10	1.00			9.75	2.25	16.75	4.00	23.25		1.25		48.37	501.44
	E	220.00	8.00								72.00	9.00	265.00					673.00
	D	-(205.75)	(121.80)	(120.82)	(4.10)	(1.00)			(9.75)	(2.25)	-(55.25)	-(5.00)	-(241.75)		(1.25)		(48.37)	-(171.56)
Eten	S	38.00		50.00					50.00		90.00	4.00	80.00		33.00			315.00
	A	38.00		50.00				1.00	50.00		90.00	4.00	80.00		3.00			316.00
	E	48.00		109.00					30.00		168.00	14.50	118.00				50.50	587.00
	D	-(10.00)		-(59.00)				(1.00)	(20.00)		-(78.00)	-(10.50)	-(38.00)		(3.00)		-(50.50)	-(271.00)
Monseú	S	56.00	84.50	1,479.10	40.22	223.93		1,040.92	37.45	186.37	10.20	3.00	141.56		5.76	1.25		3,310.26
	A	32.41	67.60	1,445.85	39.47	226.43		911.93	38.95	184.80	10.20	3.00	104.57		2.78		43.49	3,111.48
	E	242.00	54.00	2,350.00		180.00	65.00	850.00	10.00	10.00	7.00		113.00		15.00			3,836.00
	D	-(209.59)	(13.60)	-(904.15)	(39.47)	(46.43)	-(65.00)	(61.93)	(28.95)	(174.80)	(3.20)	(3.00)	-(8.43)		-(12.22)		(43.49)	-(724.52)
Ferreñafe	S	822.00	722.33	70.03	54.69	160.90		12,036.89	387.03	1.50	2.00	233.39	0.20		2.50	88.09		14,581.55
	A	822.00	628.33	71.03	54.09	149.15		9,496.64	380.76	1.50		230.29			1.75	86.59	0.20	11,922.33
	E	822.00	776.30	1.51		148.63	583.27	12,110.60	391.80	(1.50)	36.40	165.50	4.50		82.00	56.60		14,575.84
	D		-(147.97)	(69.52)	(54.09)	(0.52)	-(583.27)	-(2613.96)	-(11.04)	(1.50)	-(36.40)	(64.79)	-(4.50)		-(80.25)	(29.99)	(0.20)	-(2,653.51)
Capote	S		600.62	0.50	2.50	8.00		1,298.22	7.50	1.00	31.00							1,949.34
	A	445.22	49.40	2.50	2.50	8.00		1,085.26	13.50	1.00	31.00							1,638.38
	E	631.20					73.10	1,115.00			43.00							1,789.20
	D	-(185.98)	(49.40)	(2.50)	(2.50)	(8.00)	-(73.10)	-(29.74)	(13.50)	(1.00)	-(12.00)							-(150.82)

Subsector de riego	Área	Caña Superf.	Subterr.	Pastos	Frutas, flores, esparr.	Algodón	Aroz Semilla*	Transp.	Maiz amarillo duro	Sorgo gran.	Maiz amilac. blanco	Yuca	Hortaliz.	Tabaco	Menest.	Pepino	Otros	Total
Chiclayo	S	501,86	205,56	495,57	10,49	131,02	5025,45	112,40	1,25	16,79	2,75	10,60	24,77					6538,51
	A	511,38	135,25	500,00	10,16	128,48	3949,64	104,33	1,25	17,09	2,75	10,60	3,20				21,07	5395,20
	E	502,95	168,42			80,50	348,00	3867,00	100,00		90,00		50,00				85,00	4943,87
	D	(8,43)	-(33,17)	(500,00)	(10,16)	(47,98)	-(348,00)	(82,64)	(4,33)	(1,25)	(17,09)	(10,60)	-(46,80)				-(63,93)	(451,33)
Lambayeque	S	650,00	239,03	125,77	23,60	647,47	3182,81	16,50	2,46						2,00			4889,64
	A	707,61		129,87	9,00	672,29	2676,83	16,50	2,46				10,00		5,00			4229,56
	E	740,57	335,38	1,25		905,00	33,42	2665,41							47,50			4695,11
	D	-(32,96)	-(335,38)	(128,62)	(9,00)	-(232,71)	-(33,42)	(11,42)	(16,50)	(2,46)			(10,00)		-(42,50)			-(465,55)
Mochumí	S		376,02	3,33		102,55	2896,75	26,88							10,13			3415,66
	A		252,71	3,33		184,47	2482,82	26,38							10,13			2959,84
	E		226,89			187,50	168,00	3059,36	28,88						271,50			3774,13
	D		(25,84)	(3,33)		-(3,03)	-(168,00)	-(576,54)	-(2,50)						-(261,37)			-(814,29)
Muyanca	S		48,00			3414,26	2782,62	504,02							6,50			6755,40
	A		31,80	7,33		3649,46	2254,61	504,72							6,50			6454,42
	E		58,50	4,00		3813,05	143,00	2457,42							1112,50			7445,47
	D		-(26,70)	(3,33)		-(163,59)	-(143,00)	-(202,81)	(504,72)						-(1106,00)			-(991,05)
Túcume	S		205,75	0,93		171,72	925,69	49,59	1,85						1,50			1357,03
	A		123,45	0,93		265,30	810,45	55,74	1,85									1257,72
	E		171,00			226,04	10,88	832,07	60,00						145,75			1434,86
	D		-(47,55)	(0,93)		(39,26)	-(10,88)	-(21,62)	-(4,26)	(1,85)					-(145,75)			-(177,14)
Sasape	S		54,50	1,00		222,15	2142,74	397,86							293,30			3111,55
	A		34,50	1,00		211,65	1846,5	422,26							292,30			2808,30
	E		43,34			218,65	31,74	1862,70	337,00						293,30			2754,99
	D		-(8,84)	(1,00)		-(7,00)	-(31,74)	-(16,11)	(85,26)						-(1,00)			(53,31)
Mórope	S					482,81		1770,54			30,37				496,19			2836,70
	A					482,81		1770,54			30,37				496,19			2836,70
	E					487,00									2150,00			2697,00
	D					-(4,19)		(1770,54)			(30,37)				-(1653,81)			(139,70)
Ponalca	S		11579,25															11579,25
	A		11579,25															11579,25
	E		11579,25															11579,25
	D																	

Subsector de riego	Área	Superf.	Caña	Pastos	Frutas, flores, esparr.	Algodón	Arroz Semilla*	Maíz amarillo duro	Maíz amilac. blanco	Camote	Yuca	Hortaliz.	Tabaco	Menest.	Pepino	Otros	Total		
Tumán	S	11,579.25															11,579.25		
	S	7,900.00															7,900.00		
	A	7,900.00															7,900.00		
	E	7,900.00															7,900.00		
	D																		
Pucalá	S	5,997.00															5,997.00		
	A	5,997.00															5,997.00		
	E	5,997.00															5,997.00		
	D																		
Total general	T.S.	28,275.69	2,605.81	2,406.34	136.94	5,605.81	-	32,802.67	3,836.25	9.31	360.88	152.70	261.43	318.90	-	822.13	89.84	-	77,684.70
	T.A.	28,711.66	1,525.34	2,389.45	121.1	6,019.04	-	26,986.35	3,827.36	9.31	359.11	150.70	258.33	221.02	-	818.90	86.59	113.13	71,597.45
	T.E.	29,393.97	1,969.43	2,525.76	-	6,275.12	1,537.47	30,070.88	1,452.87	5.00	-	416.40	189.31	572.50	46.88	4,638.38	56.60	170.81	77,941.91

* Áreas referenciales

S Área solicitada.

A Área aprobada.

E Área ejecutada.

D Saldo.

COEFICIENTES DE RIEGO (ANTIGUOS, OFICIALES Y NUEVOS)

CUADRO 1
COEFICIENTES OFICIALES

Cód.	Descripción	Período de riego	Coeficientes de riego mensuales de m ³												Totales
			Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	
01	Caña de azúcar	12	1.20	1.40	1.40	1.50	1.70	2.10	2.20	2.40	2.10	1.50	1.30	1.20	20.00
02	Alfalfa	12	0.80	0.80	0.90	0.90	1.10	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	0.90	0.80	12.00
03	Pastos	12	0.80	0.80	0.90	0.90	1.10	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	0.90	0.80	12.00
04	Espárrago	12	0.80	0.80	0.90	0.90	1.10	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	0.90	0.80	12.00
05	Algodón	5	0.00	0.00	2.60	0.00	1.70	1.40	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10
06	Arroz	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.60	2.60	3.60	2.40	0.90	0.00	0.00	14.00
07	Maíz amarillo D	5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.60	1.30	1.20	7.10
08	Sorgo granífero	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.60	1.60	0.00	6.20
09	Frijol Moquegua	3	0.00	0.00	3.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
10	Maíz blanco	4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.60	1.60	0.00	6.20
11	Lenteja	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20
12	Frutales	12	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	10.80
13	Frijol blanco	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.20	0.00	4.20
14	Camote	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	3.00
15	Yuca	10	2.40	0.80	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.80	0.00	0.00	10.80
16	Tomate	5	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60
17	Ají	6	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80
18	Cebolla de rabo	3	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
19	Zanahoria	3	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
20	Repollo	4	0.00	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40
21	Flores	12	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	10.80
22	Chileno	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	3.00
23	Cebolla cabeza	5	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60
24	Lechuga	3	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
25	Beterraga	3	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
26	Coliflor	4	0.00	0.00	0.00	1.80	1.20	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40
27	Cebada	4	2.00	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40
28	Trigo	4	2.00	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40
29	Frijol Lao-Tao	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.20	0.00	4.20
30	Arveja	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.20	0.00	4.20
31	Garbanzo	1	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
32	Algarrobo	12	0.80	0.80	0.80	0.80	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.90	10.80
33	Menta	12	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	1.10	1.20	1.20	1.10	1.00	0.90	0.90	12.00
34	Soya	3	3.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
35	Girasol	3	3.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
36	Pepino	5	2.50	1.20	1.80	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50
37	Rabanito	1	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
38	Nabo	3	1.80	1.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
39	Totora	12	0.80	0.80	0.90	0.90	1.10	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	0.90	0.80	12.00
40	Maracuyá	5	0.00	0.00	2.60	0.00	1.70	1.40	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10
41	Caña azúcar Res	6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	3.60	2.60	3.60	2.40	0.90	0.00	0.00	13.19

CUADRO 2
MÓDULOS DE AGUA POR CULTIVO Y HECTÁREAS APROBADAS EN 1996-1997 (Datos no oficiales)

Cultivos	Ha	m ³ /ha	Volumen (mmc)
Caña de azúcar tradicional	29,384	17,000	349,669.600*
Caña de azúcar (agua subterránea)	1,910	12,000	22,920.000
Arroz	25,000	12,000	300,000.000
Pastos	3,548	10,600	37,608.800
Espárragos, frutales y flores	297	9,000	2,673.000
Algodón	8,000	6,800	54,400.000
Sorgo	100	6,000	600,000
Maíz amarillo	6,500	6,800	44,200.000
Menestra	5,200	4,000	20,800.000
Hortalizas	2000	4,100	8,200.000
Yuca	200	9,500	1,900.000
Maíz amiláceo	600	6,000	3,600.000
Lenteja	300	6,000	1,800.000
Pepino	200	7,600	1,520.000
Tabaco	200	8,000	1,600.000
Camote	300	3,000	900,000
Otros	200	4,000	800,000
Total	83,939		853,191.400

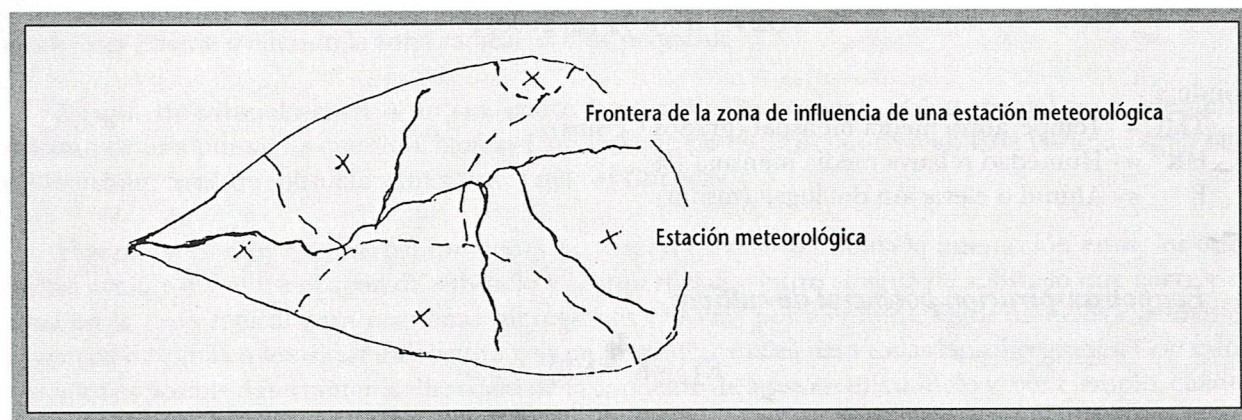
Fuente: ATDRCH-L.

* Representa el 70% de la dotación total; el 30% restante es agua subterránea.

MODELAR LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS

Los procesos hidrológicos se pueden modelar de diferentes maneras. En el presente estudio se menciona un método general. La manera óptima depende de las características de la región, el objetivo del modelo y la disponibilidad de datos. Este anexo muestra cómo se pueden modelar los procesos de precipitación, evapotranspiración, infiltración en la zona radical, escurrimiento, percolación al subsuelo, corriente en el subsuelo, drenaje e infiltración de agua superficial.

La precipitación de una gran cuenca como la Chancay-Lambayeque no es uniforme y depende, entre otros factores, de la altitud. Es posible medir la precipitación en unos puntos de la cuenca y buscar la relación entre la precipitación y la altitud. Con esta relación y con la ubicación de las estaciones meteorológicas es factible traducir las medidas de los puntos a una precipitación de áreas al determinar áreas de influencia.



En las estaciones meteorológicas también se puede medir la temperatura y la humedad relativa. Es posible calcular la evapotranspiración potencial en referencia para toda la cuenca utilizando relaciones entre temperatura y altitud y temperatura y ubicación de las estaciones. El cultivo de referencia alude al pasto sin enfermedades ni plagas, con suficientes nutrientes y provisto de una cantidad óptima de agua. Con un factor determinado para cada cultivo, que varía de acuerdo al período vegetativo, es posible calcular la evapotranspiración potencial del cultivo. Para conocer la evapotranspiración actual es necesario tener datos sobre la cantidad de agua en el suelo y la humedad relativa. La cantidad de agua en el suelo depende del tipo de suelo y la cantidad de lluvia en el pasado. Es difícil conocer con exactitud la cantidad de agua existente en el subsuelo, por eso generalmente se elaboran supuestos al respecto.

Los cálculos para la evapotranspiración son (Segura Altamirano 1995):

1. *Evapotranspiración potencial en referencia*

A. El método de Blaney-Criddle modificado por Phelan:

$$ET_0 = [(TC = 17.8)/2.8] * P$$

Donde:

- ET_0 = Evapotranspiración potencial en referencia (mm).
 TC = Temperatura media (grados C).
 P = Horas de luz (existe en tablas) (%).

B. El método de Hargreaves:

$$ET_0 = MF * TMF * CH * CE$$

Donde:

- ET_0 = Evapotranspiración potencial en referencia (mm).
 MF = Factor mensual de latitud.
 F = Temperatura media mensual (grados Fahrenheit).
 CH = Factor de corrección para la humedad relativa (1/grados).
 CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar (m).

$$TMF = 9/5 TMC + 32$$

$$CH = 0.166 (100 - HR)^{0.5}$$

$$\text{Si } HR > 64\% \text{ si } HR < 64\% \text{ CH} = 1$$

$$CE = 1.0 + 0.04 (E/2000)$$

Donde:

- TMC = Temperatura media mensual (grados Celsius).
 HR = Humedad relativa media mensual (%).
 E = Altitud o elevación del lugar (msnm).

2. *Evapotranspiración potencial de cultivos*

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Donde:

- ET_c = Evapotranspiración potencial del cultivo (mm).
 K_c = Coeficiente de cultivo (-).

3. *Evapotranspiración actual de cultivos*

- A. $ET_a = f(ET_c, \text{cantidad de agua en el suelo, la humedad relativa})$.
B. Si $P > ET_c$, $ET_a = ET_c$
Si $P < ET_c$, $ET_a = a * P$

Donde:

- ET_a = Evapotranspiración actual (mm).
 P = Precipitación (mm).
 a = Factor constante (-).

Hay muchos otros métodos para calcular la evapotranspiración (ET_0) y los mencionados sólo son ejemplos que se han usado en el IMAR anteriormente. Determinar cuál es la mejor fórmula para la cuenca Chancay-Lambayeque depende de la región para la que ésta ha sido determinada y de qué datos se dispone en la cuenca.

Por lo general, se calcula la evapotranspiración actual sin conocer la cantidad de agua que contiene el suelo porque en la mayoría de modelos no es posible establecer la diferencia entre el agua que se evapora directamente del suelo y aquella que se evapora por las plantas. Se supone que si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial, la evapotranspiración actual es igual que la evapotranspiración potencial. En verdad esto no es exacto, porque hay otros factores que pueden reducir la evapotranspiración, como las enfermedades o la insuficiencia de nutrientes. Cuando la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial, se considera que toda la precipitación se evapora. Este supuesto es peligroso cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración en el suelo, porque en este caso una parte de la lluvia se escurre, por lo que se puede suponer que solamente una parte del total de la cantidad de lluvia se infiltra en el suelo y está disponible para evapotranspiración e infiltración en el subsuelo.

La cantidad de agua que se infiltra depende de las características del suelo y de la intensidad de la lluvia. La velocidad de infiltración no es constante. En la mayoría de modelos se supone que una parte del agua se infiltra y la otra se escurre. La parte de agua que se escurre se dirige al río y sale de la región.

Existen numerosos métodos para calcular la cantidad de agua que se filtra de la zona radical al agua de subsuelo. Una posibilidad es que el modelo calcule la disponibilidad de agua en la zona radical usando un balance y además una relación entre la disponibilidad de agua en esta zona y la filtración al agua en el subsuelo. También es factible considerar que toda la precipitación que no se evapora o escurre, se filtre al agua de subsuelo. Este supuesto es racional, especialmente cuando el espacio de tiempo en el modelo es grande o cuando la zona radical es muy pequeña.

El agua de subsuelo corre a un río, mar o laguna. En una cuenca, el íntegro del agua sale de la región por una punta. La cuenca Chancay-Lambayeque no es una cuenca real. Una parte de agua sale de ella como agua de subsuelo y no a través del río Chancay.

Hay modelos muy exactos para regiones planas, en las que se calcula la interacción entre los diferentes acuíferos y entre el agua de subsuelo y la superficial, y entre el agua de subsuelo que corre y el agua en la zona radical para pequeñas subregiones (500 m² por ejemplo). Estos modelos calculan el potencial de agua en los diferentes acuíferos y en los ríos y canales para todas las subregiones. Con estos modelos es posible determinar la dirección de la corriente de agua en el subsuelo y, por ejemplo, cuánta agua se podría retirar y qué impactos producirían tales retiros. Para cuencas grandes estos modelos no son posibles. En éstas se puede usar mapas geológicos y en el valle sólo se puede medir el nivel estático. También es posible modelar todos los procesos menos la corriente en el subsuelo y calcular este proceso con los datos de descarga de los ríos y la precipitación de muchos años.

PRONOSTICAR Y EVALUAR CON LAS CORRELACIONES ENTRE LAS DESCARGAS Y LA REGRESIÓN LINEAL

Las correlaciones entre descargas se calculan para los siguientes objetivos:

- ☐ Conocer si existe una relación entre las descargas de diferentes meses y la suma de descarga de un año. Si existiera esta correlación se podría hacer un pronóstico de la descarga de un año o de la descarga de un mes.
- ☐ Indagar si los criterios para adaptar el pronóstico en octubre y febrero o enero usados en el pasado son correctos.
- ☐ Determinar si es posible conocer más sobre la importancia de la descarga básica para esta cuenca.

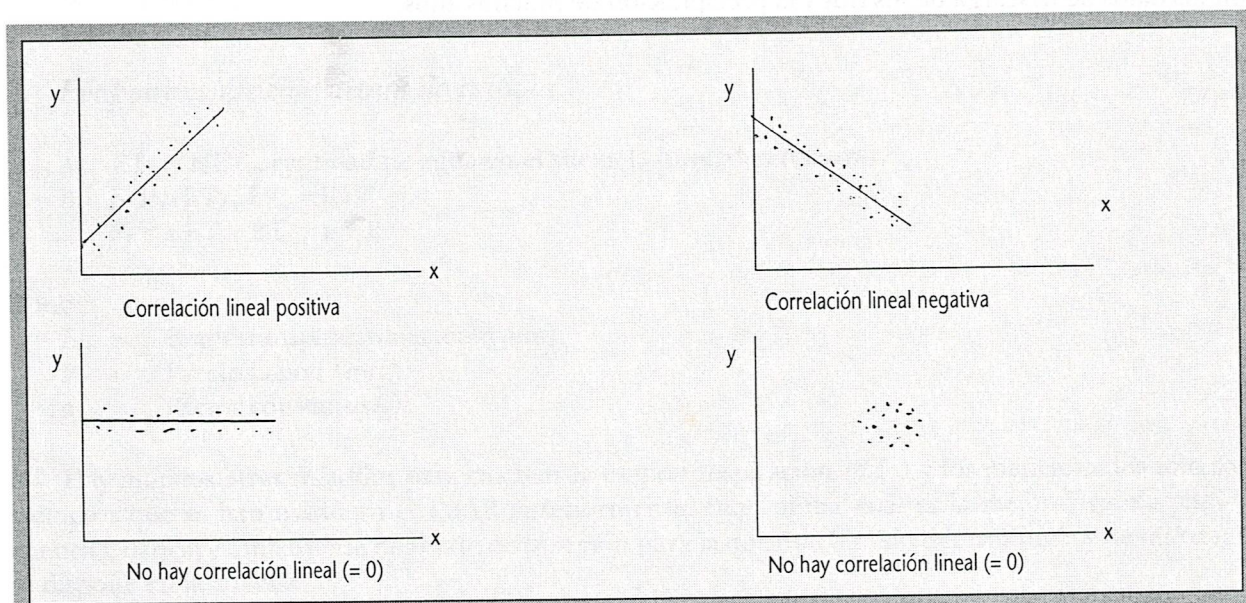
Para pronosticar datos basándose en otros datos es indispensable contestar tres preguntas:

1. ¿Existe alguna relación entre dos series de datos?

Esta pregunta se puede contestar averiguando si existe una correlación entre dos series de datos, por ejemplo, la información de la descarga del mes de setiembre y la de octubre del mismo año. Se dibuja un gráfico cuyo eje "x" es la descarga de setiembre e "y" es la descarga de octubre y se colocan los datos de las descargas de muchos años (sólo de estos dos meses). Si los puntos del gráfico están en una línea recta, hay una correlación lineal. Si la pendiente de la línea es cero, no hay correlación. (Ver los gráficos).

A veces es posible hallar una correlación entre dos asuntos que no tienen ninguna relación. Por ejemplo, en Europa hay menos cigüeñas que antes y la gente tiene menos hijos también. Si los jóvenes de ahora tienen más hijos, no significa que va a haber más cigüeñas o si en Europa la gente cría más cigüeñas, no quiere decir que automáticamente nacerán más niños; entonces no existe una relación causal.

Se usa el coeficiente de correlación para determinar la relación entre dos propiedades lógicas, por ejemplo, para examinar la relación entre la temperatura promedio de una localidad y el uso de aire acondicionado en la misma.



La ecuación para el coeficiente de correlación entre los datos "x" e "y" es:

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(x,y)}{\sigma_x * \sigma_y} \quad (1)$$

Donde:

$$-1 < \rho_{x,y} < 1.$$

$\rho_{x,y}$ = Coeficiente de correlación.

x, y = Dos series de datos de propiedades.

cov (x,y) = Covarianza entre los datos de la serie "x" y la serie "y".

$\sigma_{x,y}$ = Desviación estándar de datos "x" e "y".

La covarianza es el promedio de los productos entre las desviaciones de los valores por pares.

$$\text{Cov}(x,y) = \frac{1}{n} \sum (x - \mu_x)(y - \mu_y) \quad (2)$$

Donde:

μ_x = Valor de expectación de datos x.

μ_y = Valor de expectación de datos y.

Si todos los puntos forman una línea, la correlación es perfecta y su valor es 1 o -1. Se puede calcular la correlación entre las descargas de dos meses o entre la descarga de un mes y la suma de descarga de un año. También es posible calcular las correlaciones entre las descargas acumulativas (suma de descargas hasta un mes) de diferentes meses o entre la descarga acumulativa y la suma de las descargas de un año. Por ejemplo, es factible calcular la correlación entre la descarga de enero y diciembre o entre la descarga de agosto hasta enero con la descarga hasta diciembre.

Las correlaciones se encuentran en los Cuadros 1 y 2.

CUADRO 1
DESCARGAS MENSUALES (mmc/mes o mmc/año) Y SUS CORRELACIONES

Años	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Total
83-84	20.6	33.5	35	26.8	85.1	45.5	298.8	324.5	191.9	179.7	76.1	72.7	1390
84-85	33.3	37.8	120.8	58.4	67.1	40.2	44	73.9	54.6	40.4	23.6	14.6	608.7
85-86	17.7	21.2	51.9	19.9	44.6	90.4	106.9	81.2	248.6	131.1	46.6	31.7	891.8
86-87	31.3	20.1	37.7	94.9	83.5	222.2	174.7	107.1	82.6	75.3	30.7	24.6	984.7
87-88	34.9	32.5	36.6	53	39.5	96.4	171.4	97.8	146.1	102.6	53.5	29.3	893.6
88-89	21.7	24.1	45.9	91.8	46.5	182.9	260.2	254.7	259.1	84.1	41.6	25.1	1338
89-90	15.5	27.5	101.6	51.6	28.1	20.2	69.7	60.5	96.9	79.9	77.4	36.1	665
90-91	19.3	13.3	70.5	78.8	95.9	37.4	65.5	224.5	152.3	127.5	37	22.3	944.3
91-92	14.8	10.7	14.6	22.4	33.7	69.3	38.8	96	161.8	91.6	50.8	23.7	628.2
92-93	14.3	22.5	47.3	33.6	21.9	34.8	158.4	347	307.9	163.6	68.8	33.9	1254
93-94	20	21.2	75.1	129.1	78.3	183.6	198.3	263.8	234.6	99.7	50.6	27.3	1382
94-95	15.5	10.6	12.6	49.1	79.8	40	119.8	119.4	133.4	68.1	31.9	19.9	700.1
Suma	258.9	275	649.6	709.4	704	1063	1707	2050	2070	1244	588.6	361.2	11680
Prom.	21.58	22.92	54.1	59.12	58.67	88.58	142.2	171	172.48	103.6	49.05	30.10	973.3
Máx.	34.9	37.8	120.8	129.1	95.5	222.2	298.8	222.2	307.9	179	77.4	72.7	1390
Mín.	14.3	10.6	12.6	19.9	21.9	20.2	38.8	20.2	54.6	40.4	23.6	14.6	608.7
Corr. 1	o	0.5955	0.531	0.280	0.452	0.201	0.471	0.657	0.696	0.657	0.646	0.761	-
Corr. 2	-0.083	0.151	-0.161	0.374	0.182	0.442	0.866	0.876	0.700	0.609	0.332	0.511	1.00
Corr. 3	o	0.6607	0.6601	0.2394	0.6105	0.2850	0.7398	0.5370	0.7463	0.7607	0.5109	0.8970	0.3020
Corr. 4	-0.072	-0.017	-0.091	0.591	0.046	0.598	0.837	0.845	0.743	0.482	0.153	0.302	1.000

CUADRO 2
DESCARGAS ACUMULATIVAS Y SUS CORRELACIONES

Año	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.
83-84	20.6	54.1	89.1	115.9	201	246.5	545.3	869.8	1061.7	1241	1,317.5	1,390
84-85	33.3	71.1	191.9	250.3	317.4	357.6	401.6	475.5	530.1	570.5	594.1	608.7
85-86	17.7	38.9	90.8	110.7	155.3	245.7	352.6	433.8	682.4	813.5	860.1	891.8
86-87	31.3	51.4	89.1	184	267.5	489.7	664.4	771.5	854.1	929.4	960.1	984.7
87-88	34.9	67.4	104	157	196.5	292.9	464.3	562.1	708.2	810.8	864.3	893.6
88-89	21.7	45.8	91.7	183.5	230	412.9	673.1	927.8	1186.9	1,271	1,312.6	1338
89-90	15.5	43	144.6	196.2	224.3	244.5	314.2	374.7	471.6	551.5	628.9	665
90-91	19.3	32.6	103.1	1,81.9	277.8	315.2	380.7	605.2	757.5	885	922	944.3
91-92	14.8	25.5	40.1	62.5	96.2	165.5	204.3	300.3	462.1	553.7	604.5	628.2
92-93	14.3	36.8	84.1	117.7	139.6	174.4	332.8	679.8	987.7	1151	1,220.1	1254
93-94	20	41.2	116.3	245.4	323.7	507.3	705.6	969.4	1,204	1,304	1,354.3	1,382
94-95	15.5	26.1	38.7	87.8	167.6	207.6	327.4	446.8	580.2	648.3	680.2	700.1
Corr. 1	0.873	0.703	0.840	0.938	0.826	0.876	0.903	0.965	0.992	0.998	-	
Corr. 2	-0.083	0.050	-0.110	0.134	0.178	0.375	0.707	0.922	0.979	0.995	0.999	1
Corr. 3	0.902	0.736	0.847	0.948	0.828	0.935	0.910	0.961	0.993	0.998	-	
Corr. 4	-0.072	-0.048	-0.088	0.263	0.232	0.502	0.708	0.912	0.985	0.997	1.000	1

Corr. 1: Correlación entre los dos siguientes meses.
 Corr. 2: Correlación entre un mes y la suma de un año.
 Corr. 3: Correlación entre los dos siguientes meses sin los datos de 1983 (Fenómeno El Niño).
 Corr. 4: Correlación entre un mes y la suma de un año sin los datos de 1983 (Fenómeno El Niño).

Cuadro 1:

Corr. 1 ejemplo: 0,5955 es la correlación entre la descarga de agosto y setiembre.

Corr. 2 ejemplo: 0,151 es la correlación entre la descarga de setiembre y la descarga del año total.

Cuadro 2:

Corr. 3 ejemplo: 0,8228 es la correlación entre la suma de la descarga hasta diciembre y la suma de la descarga hasta enero.

Corr. 4 ejemplo: 0,503 es la correlación entre la suma de la descarga hasta enero y la suma de descarga de un año.

En general se puede decir que las correlaciones sin el año 1983-1984 (Corr. 3 y Corr. 4) son más elevadas, pero existen excepciones. En adelante se usa solamente los años 1984-1985 hasta 1994-1995.

Las descargas acumulativas de diferentes meses tienen más correlación entre sí que las descargas mensuales. Esto es lógico porque son casi iguales, con la única diferencia de la contribución de la descarga de un mes más. Por ejemplo: la descarga de agosto hasta enero (descarga acumulativa de enero) y la descarga acumulativa de febrero tienen más relación que la descarga mensual de enero y febrero. En los últimos meses de la campaña (mayo o julio, por ejemplo) la contribución de un mes más es relativamente pequeña comparada con la descarga acumulativa en total y por eso la correlación es mayor.

Las descargas de febrero, marzo y abril tienen más correlación con la suma de descargas de un año, lo cual tiene sentido porque en estos meses cae la mayoría de la lluvia y se presentan las descargas más grandes. Esto también significa que las descargas pico son muy importantes y forman la mayor parte de la descarga. Como consecuencia, las bajas descargas de junio y julio tienen una relación entre sí más

fuerte que otros meses. Las descargas pico son relativamente menos importantes que las descargas de base en este mes.

Los correlaciones entre las descargas de los meses de enero-febrero, marzo-abril, abril-mayo, y junio-julio están por sobre 0,7, lo que significa que existe una relación entre estos meses. En este anexo se pretende encontrar dicha relación. También se analiza las relaciones entre las descargas mensuales de febrero, marzo y abril y la suma de la descarga de un año, a fin de predecir la suma de descarga de la campaña agrícola. Además, se investiga las relaciones entre la descarga acumulativa de setiembre y la suma acumulativa de agosto (0,902) y entre todas las otras parejas de descargas acumulativas de los siguientes meses y las correlaciones de las descargas acumulativas de febrero, marzo, abril y mayo con la suma de la descarga de un año.

Las otras correlaciones son demasiado pequeñas y no se emplean.

2. ¿En qué consiste la relación entre dos series de datos?

Si se sabe que existe una relación entre dos series de datos, se tiene que buscar cuál es esa relación. Para buscar la relación con un error lo más pequeño posible, se utiliza el método de cuadrados mínimos. Si buscamos la línea recta: $y_{cal} = ax + f$, donde y_{cal} es el dato "y" calculado (la descarga pronosticada), el error es mínimo cuando $y - y_{cal} = \text{mínimo}$ (cuando la descarga medida menos la descarga pronosticada es mínima). Entonces, se calcula para todas las parejas: $[(y - (ax+f))]^2$ y se busca el coeficiente "a" y el coeficiente "f" de modo que este cuadrado alcance un mínimo. Este método se llama regresión lineal.

Los coeficientes tienen el siguiente valor:

$$a = \rho * \sigma_x / \sigma_y$$

$$b = \mu_y - a \mu_x$$

Para funciones exponenciales el procedimiento es igual aunque aquí no lo tratamos.

En este estudio las relaciones son exponenciales o lineales y tienen las siguientes fórmulas:

$$1. y = b * m^x \quad (1)$$

$$2. y = a * x + f \quad (2)$$

Donde:

- y = Descarga pronosticada de un mes o descarga acumulativa hasta un mes (mmc/mes o mmc/meses).
- x = Descarga medida de un mes o descarga acumulativa hasta un mes (mmc/mes o mmc/meses).
- b = Factor de función logarítmica (-).
- m = Crecimiento de función logarítmica (-).
- a = Pendiente de función (-).
- f = Factor de función lineal (-).

Si se emplea las descargas acumulativas, la descarga mensual es:

$$Q_{mes} = y - x$$

Donde Q_{mes} = descarga de un mes (mmc/mes).

Si se usa sólo las descargas mensuales y no las descargas acumulativas, la descarga de un mes es:

$$Q_{\text{mes}} = y$$

En los resultados de este anexo, se mencionan los coeficientes “b” y “m” si la relación parece más exponencial; cuando la relación parece más lineal se mencionan los coeficientes “a” y “f”.

Las descargas se calculan utilizando las relaciones encontradas y se comparan con las descargas medidas. Cuando el error es menor a 50 mmc, la relación hallada aparece en los Cuadros 3 y 4. Las descargas calculadas con las relaciones (resultados) se muestran en los Cuadros 5 y 6.

CUADRO 3 PARÁMETROS* PARA PREDECIR LA DESCARGA DE UN MES			
Mes	Pendiente/ crecimiento	Factor	Tipo de datos usados
Setiembre	m: 1,0378	b: 18,55	Des. acu.
Octubre	a: 2,1318	f: 6,51	Des. acu.
Noviembre	a: 1,1996	f: 42,20	Des. acu.
Diciembre	a: 1,1532	f: 31,51	Des. acu.
Febrero	a: 0,7347	f: 60,02	Des. mens.
Mayo	a: 0,3187	f: 42,31	Des. mens.
Junio	a: 1,005	f: 42,73	Des. acu.
Julio	a: 0,3484	f: 10,0	Des. mens.

Des. acu. = Descargas acumulativas.

Des. mens. = Descargas mensuales.

* Fórmulas 1 y 2.

Ejemplo: – Para calcular la descarga de julio (d.m.):

$$Q_{\text{jul}} = 0,3484 * Q_{\text{jun}} + 10,0$$

– Para calcular la descarga de setiembre (d.m.);

$$y = 18,55 * 1,0378^x$$

$$Q_{\text{set}} = y - x = Q_{\text{hasta set}} - Q_{\text{hasta ago}}$$

CUADRO 4 PARÁMETROS* PARA PREDECIR LA DESCARGA DE UN AÑO			
Mes (x)	a	f	d.a. / d.m.
Febrero	3,3367	508,4	d.m.
Marzo	1,1662	241,4	d.a.
Abril	1,0481	132,7	d.a.
Mayo	1,0097	64,5	d.a.

* Fórmulas 1 y 2.

3. ¿Es posible hacer pronósticos acertados con estas relaciones?

La pregunta se puede contestar calculando los valores de los datos “y” y comparándolos con los datos medidos. El error se calcula utilizando el promedio de la diferencia entre la descarga, calculado y medido al cuadrado: el error es el promedio de $(Q_{\text{cal}} - Q_{\text{med}})^2$

CUADRO 5
RESULTADOS DE LOS PRONÓSTICOS MENSUALES UTILIZANDO LAS RELACIONES
ENCONTRADAS (mmc/mes)

Mes Año	Set.		Oct.		Nov.		Dic.		Feb.		May.		Jun.		Jul.	
	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C	M	C
84-85	37.8	30.6	120.8	87.0	58.4	80.5	67.1	69.9	44	89.6	40.4	59.7	23.6	45.3	14.6	18.2
85-86	21.2	18.1	51.9	50.5	19.9	60.3	44.6	48.5	106.9	126.4	131.1	121.5	46.6	46.4	31.7	26.2
86-87	20.1	28.0	37.7	64.7	94.9	60.0	83.5	59.7	174.7	223.3	75.3	68.6	30.7	46.9	24.6	20.7
87-88	32.5	32.9	36.6	82.8	53.0	63.0	39.5	55.6	171.4	130.8	102.6	88.9	53.5	46.4	29.3	28.6
88-89	24.1	19.8	45.9	58.3	91.8	60.5	46.5	59.6	260.2	194.4	84.1	124.9	41.6	48.4	25.1	24.5
89-90	27.5	17.5	101.6	55.2	51.6	71.1	28.1	61.6	69.7	74.9	79.9	73.2	77.4	45.2	36.1	37.0
90-91	13.3	18.7	70.5	43.3	78.8	62.8	95.9	59.4	65.5	87.5	127.5	90.8	37	46.7	22.3	22.9
91-92	10.7	17.3	14.6	35.4	22.4	50.2	33.7	41.1	38.8	110.9	91.6	93.9	50.8	45.2	23.7	27.7
92-93	22.5	17.2	47.3	48.2	33.6	59.0	21.9	49.5	158.4	85.6	163.6	140.4	68.8	47.9	33.9	34.0
93-94	21.2	19.0	75.1	53.1	129	65.4	78.3	69.1	198.3	194.9	99.7	117.1	50.6	48.6	27.3	27.6
94-95	10.6	17.5	12.6	36.0	49.1	49.9	79.8	45.0	119.8	89.4	68.1	84.8	31.9	45.6	19.9	21.1
Prom.	22.0	21.5	55.9	55.9	62.1	62.1	56.3	56.3	128.0	128.0	96.7	96.7	46.6	46.6	26.2	26.2
Error	-	6.0	-	27.8	-	32.4	-	23.6	-	45.5	-	21.0	-	16.2		2.7
Tipo		d.a.		d.a.		d.a.		d.a.		d.a.		d.m.		d.m.		d.m.

M = Descarga medida (Cuadros 1 y 2).
C = Descarga calculada (con la relación encontrada Cuadro 3).
d.a. = Descargas anuales (campana).
d.m. = Descargas mensuales.

Luego del análisis del Cuadro 5 resulta claro que los errores de setiembre y julio son pequeños y el de mayo regular. Los otros errores son muy elevados.

CUADRO 6
RESULTADOS DE LOS PRONÓSTICOS DE DESCARGA ANUAL, CALCULADOS CON BASE EN
LAS RELACIONES ENCONTRADAS (mmc/año)

Año	Medido	Feb.	Mar.	Abril	May.
84-85	608,7	655,2	795,9	688,3	640,5
85-86	891,8	865,1	747,2	847,9	885,8
86-87	984,7	1.091,3	1.141,1	1.027,9	1.002,9
87-88	893,6	1.080,3	896,9	875,0	883,1
88-89	1.337,7	1.376,6	1.323,3	1.376,7	1.347,8
89-90	665,0	741,0	678,3	627,0	621,3
90-91	944,3	727,0	947,1	926,6	958,0
91-92	628,2	637,9	591,6	617,0	623,5
92-93	1254,0	1.037,0	1.034,1	1167,9	1.226,9
93-94	1381,6	1.170,1	1.371,8	1.394,6	1.380,8
94-95	700,1	908,2	762,4	740,8	719,0
Prom	935,4	935,4	935,4	935,4	935,4
Error	-	147,4	110,6	45,8	20,9

Después de febrero el error en el pronóstico de la suma de la descarga del año es de 147,4 mmc (16%), después de marzo es de 110,6 (12 %) y en abril y mayo es pequeño.

Conclusiones generales

1. Sobre la base de esta estadística es imposible predecir la suma de la descarga de un año antes de fines de febrero. Después de finalizado febrero, la mayor parte de la lluvia ya ha caído y, el pronóstico se presenta demasiado tarde, por lo que no tiene mucho valor para la campaña agrícola.

Solamente las descargas de los meses de setiembre y julio se pueden predecir con un pequeño margen de error. El error en la predicción de descarga de mayo es regular.

2. Los ajustes del PCR usados en el pasado (en los que se asume que si la descarga de octubre es mayor a 70 mmc, la descarga total del año será de 100 mmc más de lo pronosticado por la DGAS), no se pueden controlar con estadísticas. La descarga de octubre no tiene ninguna relación con la descarga total. Los ajustes después de enero y febrero tampoco se basan en estadísticas, porque no existe una relación fuerte entre la descarga hasta enero o la descarga de febrero y la suma de la descarga de un año.
3. La descarga básica de esta cuenca forma sólo una pequeña parte de la descarga total. La descarga básica es relativamente insignificante y las descargas pico son importantes, porque las descargas mensuales tienen una correlación baja entre sí y las descargas de los meses en que cae la mayoría de lluvia tienen la correlación más alta con la suma de descargas de un año.

4. Pronósticos para los años 1995-1996 y 1996-1997 basados en las relaciones encontradas

CUADRO 7
LAS DESCARGAS MEDIDAS DE LOS ÚLTIMOS AÑOS (mmc/mes)

Años	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Total
95-96	11,3	12,9	37,5	105,0	110,5	130,4	118,5	143,0	82,2	92,3	46,7	16,3	906,6
96-97	11,9	13,7	65,0	60,0	17,6	15,1	140,7	86,7	84,2	48,3	25,2	13,3	581,6

CUADRO 8
LOS PRONÓSTICOS DE LOS MESES (en mmc/mes*)

Ms	Set.		Oct.		Nov.		Dic.		Feb.		May.		Jun.		Jul.	
	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
M1	13	17	38	34	105	55	111	57	118	156	92	69	47	47	16	16
M2	14	17	65	35	60	60	18	55	141	71.1	48	69	25	45	13	19
Dif.		3.6		17		25		45		14		22		10		7.8
(%)		27		32		61		71		26		20		28		53

* Calculado con las relaciones encontradas en el Cuadro 3.

CUADRO 9
PRONÓSTICOS DE LAS DESCARGAS DE UN AÑO, BASADOS EN LAS DESCARGAS ACUMULATIVAS
(mmc/año)*

Mes Año	Febrero		Marzo		Abril		Mayo	
	95-/96	96-/97	95-/96	96-/97	95-/96	96-/97	95-/96	96-/97
Medido	906,6	581,6	906,6	581,6	906,6	581,6	906,6	581,6
Pronóstico	903,8	977,8	1354	923,7	920,2	563	916,23	612,8
Dif.	-2,8	396,2	446,9	342,1	13,6	-18,6	9,6	31
Dif. (%)	-0,304	68,1	49,3	58,8	1,495	3,2	1,0626	5,3

* Calculado con las relaciones encontradas en el Cuadro 4.

Conclusiones

Los pronósticos de los meses son muy malos y no pueden ser usados. Los pronósticos del año agrícola 1995-1996 son más acertados que los de la campaña 1996-1997. La descarga de esta campaña es muy baja. Los pronósticos de la suma del año 1995-1996 usando las relaciones encontradas son bastante exactos. Este año presentó una descarga normal. Es posible que para años normales los pronósticos sean mejores que para años muy secos o muy húmedos.

EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Existen diferentes fórmulas experimentales para calcular el tiempo de concentración. Oficialmente éstas sólo son válidas en las cuencas para las que están determinadas, por eso no es posible interpretar los resultados como datos exactos, sino únicamente como indicadores del orden de magnitud. El tiempo de concentración se ha calculado con diferentes fórmulas, con base en los siguientes datos:

- ❑ Área de la cuenca comprendida hasta la Bocatoma Raca Rumi: 2,722 km² (área total de la cuenca = 5,139, área regulada hasta 480 msnm: 2,417 km).
- ❑ Altitud máxima (de donde se origina el río Chancay) = 3,750 msnm.
- ❑ Altitud de la Bocatoma Raca Rumi = 285 msnm.
- ❑ Longitud del río Chancay desde su inicio hasta la Bocatoma Raca Rumi = 117,4 km.
- ❑ Factor de rugosidad (promedio global estimado a 0.20 (Reyes 1992).

Con estos datos se ha calculado la pendiente global de la cuenca como:

$$\text{Pendiente} = (3,750 - 285) / 117,400 = 0.0295 \text{ m/m}$$

En las fórmulas siguientes se usan los datos arriba mencionados. Los resultados y las fórmulas son:

1. $T_c = 0.0662 (L/\sqrt{s})^{0.77}$ (Kirpich)
 L: Longitud del cauce principal (km).
 s: Pendiente media del cauce principal, calculada entre la máxima y la mínima elevación del tramo interesado (m/m).
 T_c: Tiempo de concentración (horas).
2. $T_c = 2.24 A^{0.57}$ (Ayres)
 T_c (horas), A [Área de la cuenca (ha)]
3. $T_c = 0.07 (L/\sqrt{s})^{0.64}$ (Chow)
 T_c (min), L (m), s (m/m).
4. $T_c = 0.022 L s^{-0.2} A^{-0.1}$ (Ramsby y Williams)
 T_c (min), L (m), s (m/m) A (ha).
5. $T_c = 0.606 [L*n]^{0.467} s^{-0.243}$ (Hathaway)
 T_c (horas), n (factor de rugosidad), L (km), s (m/m)

Resultados:

Fórmula	T _c (horas)
1. Kirpich	10,1
2. Ayres	46.8
3. Chow	6.3
4. Ramsby y Williams	24.9
5. Hathaway	6,3

Estos cálculos y sus resultados son globales. Si se desea conocer en mayor detalle el tiempo de concentración, hay que dividir la cuenca en pequeñas subcuencas con una pendiente homogénea. De estos resultados se colige que el tiempo de concentración es corto; no mayor a algunos días. Esto significa que la lluvia que cae en la parte más alejada de la Bocatoma Raca Rumi llega a esta última en algunos días. Para este estudio no es importante saber si el agua llega en uno o en cuatro días, sino lo relevante es que apenas tarda unos pocos días.

ÁREA Y COEFICIENTES DE OTROS CULTIVOS (MODELO DEL CAPÍTULO V)

Este anexo corresponde a la hoja 2 del archivo reservorio.EXCEL.

CUADRO 1 LOS CULTIVOS Y LAS HECTÁREAS	
Cultivo	Hectáreas
Pastos	3,548
Frutas	297
Sorgo	100
Camote	300
Yuca	200
Hortalizas	2,000
Menestras	5,200
Pepino	200
Otros	700
Total	12,545

CUADRO 2 LOS COEFICIENTES DE RIEGO (m ³ /s/ha)										
Mes	Pastos	Frutas	Sorgo	Camote	Yuca	Hortalizas	Menestras*	Pepino	Otros	Total
Ago.	0,71	0,67	0	0	2,1	0	0	2,5	0	3,64
Set.	0,71	0,67	0	0	0,7	0	0	1,2	0	3,10
Oct.	0,8	0,67	0	0	0,79	1,1	1,4	1,8	0	13,04
Nov.	0,8	0,67	0	0	0,88	0,75	0	1	0	4,91
Dic.	0,97	0,75	0	0	0,88	0,75	0,6	1	0	8,66
Ene.	1,06	0,83	0	0	0,88	0,75	0	0	0	5,68
Feb.	1,06	0,75	0	0	0,88	0,75	0	0	0	5,66
Mar.	1,06	0,83	2,9	0	0,88	0	0	0	0	4,47
Abr.	0,97	0,83	0	2	0,79	0	0	0	0	4,45
May.	0,97	0,83	1,5	0	0,7	0	1,4	0	0	11,26
Jun.	0,8	0,75	1,6	1	0	0	0	0	0	3,52
Jul.	0,71	0,75	0	0	0	0	0,6	0	0	5,86
Total	10,62	9	6	3	9,48	4,1	4	7,5	0	74,25

Supuesto: El rubro menestras consta de 50% de menestras de verano y 50% de menestras de invierno.

Para la columna de hortalizas se consideraron los datos sobre el cultivo del tomate.

ANEXO 13

DISPONIBILIDAD DE AGUA

Disponibilidad de agua superficial

1. Probabilidad calculada con los datos de los años 1959-1960 hasta 1996-1997 con el método de la DGAS.
2. Probabilidad calculada con base en los datos de los años 1983-1984 hasta 1996-1997.
3. Probabilidad con una persistencia anual de 75%, calculada (como la mencionada en el punto 3) y distribuida como los promedios actuales.
4. Probabilidad calculada usando la información de los años 1927-1997 con las correcciones del caso debido a los cambios en las descargas producidos por la construcción de los túneles.

CUADRO 1
LAS PROBABILIDADES EN MMC/MES

	1. DGAS				2. 1983-1997				3. 75 anual		4. DGAS 1927-1997			
	50%	75%	90%	60%	50%	75%	90%	59%	60%	P75%	50%	75%	90%	60%
Ago.	19,8	14,2	11,6	17,9	18,9	13,8	11,5	16,9	16,7	15,8	21,1	14,8	12,05	18,3
Set.	21,1	13,0	9,7	17,8	19,9	13,6	10,9	17,3	17,1	16,7	21,9	12,9	9,417	17,7
Oct.	44,3	23,7	16,3	34,1	45,4	26,4	19,0	37,3	36,5	39,5	47,5	25,4	17,58	36,9
Nov.	50,9	29,9	21,8	40,1	53,9	32,2	23,6	44,8	43,9	43,2	50,7	27,7	19,35	39,7
Dic.	51,5	29,1	20,7	41,6	51,6	30,9	22,8	42,9	42,0	42,8	55,0	30,9	21,88	43,6
Ene.	66,2	35,7	24,7	53,5	63,4	30,2	19,3	48,5	47,1	64,7	71,4	38,9	27,05	56
Feb.	94,7	52,4	36,7	72,3	123,4	71,3	51,3	101,3	99,1	103,9	101,7	56,4	39,73	80,3
Mar.	145,5	87,1	64,1	118,2	144,3	84,5	61,3	119,0	116,5	124,8	155,3	93,6	69,11	127
Abr.	145,1	95,2	73,9	123,4	150,6	96,7	74,1	128,4	126,1	126,0	160,6	108,2	85,54	137
May.	90,1	62,2	49,8	79,0	91,4	63,5	51,1	80,2	79,0	75,7	102,4	69,7	55,34	87,8
Jun.	45,8	31,9	25,7	40,3	44,2	31,6	25,9	39,2	38,7	35,8	51,0	35,0	28,01	43,9
Jul.	27,5	19,4	15,8	24,9	25,4	17,7	14,2	22,3	22,0	22,0	30,5	21,6	17,67	26,6
Total	876,9	636,4	525,1	773,7	917,3	689,3	580,7	827,6	818,2	710,9	955,3	710,8	595,5	849
Suma	803,0	494,5	371,5	663,1	832,9	513,3	385,9	698,8	685,4		868,9	535,9	403,6	715

CUADRO 2
LAS DESCARGAS REALES

Mes	(mmc/mes)	
	1995-1996	1996-1997
Ago.	11,26	11,89
Set.	12,92	13,68
Oct.	37,46	65,04
Nov.	105,04	59,97
Dic.	110,53	17,59
Ene.	130,45	15,08
Feb.	183,93	140,66
Mar.	264,26	86,7
Abr.	196,24	84,18
May.	92,26	48,32
Jun.	46,70	25,21
Jul.	16,29	13,22
Total	1207,3	581,54

Fuente: ETECOM S.A.