

MINISTERIO DE AGRICULTURA



IICA
012
70

Manual para la Operación de Riego

Convenio Dirección General
de Aguas del Ministerio de
Agricultura del Perú y el
Instituto Interamericano de
Ciencias Agrícolas-OEA

IICA-CIDIA

Centro Interamericano de
Documentación e
Información Agrícola

0 2 FEB 1987

MINISTERIO DE AGRICULTURA **IICA** — INSTITUTO INTERAMERICANO DE
CIENCIAS AGRICOLAS

Dirección General de Aguas

Dirección Regional para la Zona Andina

CONVENIO DGA - IICA

MANUAL PARA LA OPERACION DE RIEGO

Lima

1975

**

TAN IMPORTANTE COMO LA HABILITACION DE NUEVAS AREAS REGADAS E IGUALMENTE PRIORITARIO, ES EL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA Y, EN GENERAL, LA OPTIMIZACION EN EL MANEJO DE LOS SISTEMAS YA EN SERVICIO.

UN INCREMENTO RELATIVO DEL DIEZ POR CIENTO EN LA EFICIENCIA DE USO ZONAL DE UN DISTRITO CORRIENTE, PUEDE SIGNIFICAR TANTO COMO LA HABILITACION DE TODO UN NUEVO SISTEMA SUPLEMENTARIO.

PERSONAL QUE HA COLABORADO EN LA REALIZACION DEL PRESENTE

MANUAL

- DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA

Dirección General de Aguas

Ing° Luis Hudson León Prado, Director de Distritos de Riego

Ing° Pedro Amaya Alcántara, Sub-Director de Operación y Mantenim
miento.

Ing° Carlos Arena Merino, Sub-Director de Agrología

Ing° Julio Rodríguez León, Sub-Director de Obras y Explotaciones

Ing° Adolfo Zulueta Acuña, Sub-Director de Otorgamientos

Ing° Miguel Puga Imaña, Sub-Director de Planes de Cultivo y Riego

Ing° Miguel Garmendia Santisteban, Jefe de División de Estudios
Especiales.

Ing° Félix Hatta Sakoda, Encargado de División de Operación

Ing° Antonio Craft Zevallos, Jefe División de Mantenimiento

Ing° Porfirio Mejía Díaz, Especialista

Ing° Pablo Benites Castro, Asistente Técnico

Sr. Julio Yactayo Añazgo, Dibujante

Srta. Ruth Limón Valdivia, Secretaria

- DEL INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS-OEA

Dirección Regional para la Zona Andina

Ing° Jorge A. Luque, Especialista en Riego

Se agradece a todos aquellos que se
consultó, tanto en la Dirección Gener
al como en los Distritos y que, gen-
tilmente expusieron sus puntos de vista
ta.

MINISTRO DE AGRICULTURA

GENERAL DE DIVISION E.P. : ENRIQUE GALLEGOS VENERO

DIRECTOR SUPERIOR DE AGRICULTURA

ING. BENJAMIN SAMANEZ CONCHA

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

ING. JULIO GUERRA TOVAR

DIRECTOR DE DISTRITOS DE RIEGO

ING. LUIS HUDSON LEON PRADO

MANUAL PARA LA OPERACION DE RIEGO

PLAN GENERAL

A. ACTIVIDADES DE EXPLOTACIONES

2.1.1. Estado y Diseño de **** sistema

2.1.2. Cálculo del Uso Convencional de los Cultivos, Base para

el uso por el mejoramiento e eficiencia de riego.

2.1.2.1. Método de Cálculo del Consumo y Crecimiento y su desarrollo

2.1.2.2. Seguimiento por métodos de Cálculo de la Evaporación y Transpiración

basados.

2.2.2.1. Desarrollo y aplicación.

2.2.2.2. Cálculo del uso Convencional de los Cultivos.

PLAN GENERAL

PARTE PRIMERA

Información y Requisitos Básicos previos.

1. LOS RECURSOS HIDRICOS

1.1. Aguas Superficiales y Subterráneas : Su Pronóstico

1.2. Calidad del Agua para Riego

2. ESTUDIO DE LOS SUELOS

2.1. Detalle de las Agrupaciones de Suelos

2.1.1. Límites de los valores para la característica de los suelos en las agrupaciones establecidas.

2.1.2. Valores de diseño a asumir para el caso de tres Agrupaciones de Suelos.

2.2. Información Complementaria para Suelos

3. CULTIVOS o EXPLOTACIONES

3.1. Listado y Detalle de los Cultivos

3.2. Cálculo del Uso Consuntivo de los Cultivos, Base para el logro del requerimiento o necesidad de riego.

3.2.1. El Procedimiento de Blaney y Criddle y su desarrollo

3.2.2. Segundo procedimiento: Christiansen (UTAH) y colaboradores.

3.2.2.1. Desarrollo y Aplicación.

3.2.2.2. Cálculo del uso Consuntivo de los Cultivos.

3.2.3. Procedimiento basado en la Fórmula de Hargraves

3.3. Los índices volumétricos unitarios mensuales o coeficientes de riego : Su determinación.

3.4. Ultimo Ajuste del Cultivo para las áreas Plantadas y Regadas en él

3.5. Cálculos de Requerimientos o Volumen bruto unitario previo a los efectos del Balance para el ajuste.

3.6. Planteo del Balance para el ajuste de los cultivos.

4. ANALISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO Y DRENAJE.

4.1. Red de Riego

4.2. Red de Desague

4.3. Red de Drenaje

5. RECURSOS HUMANOS

PARTE SEGUNDA

Planteo y Metodología de base a adoptarse para la operación.

6. INTRODUCCION AL PLANTEO

6.1. Análisis de los Procedimientos Básicos de Distribución y entrega del agua.

6.1.1. Distribución del agua por demanda libre

6.1.2. Distribución volumétrica por turnado o "tandeo".

7. FASES o PASOS PARA EL PROCESO DE OPERACION

7.1. Fase o Etapa Operacional : Planteo de las Curvas de Demanda

7.2. Fase Operacional Segunda ; Normas para el Control y Administración del Recurso.

7.3. Etapa operacional Tercera

PARTE TERCERA

Desarrollo de la Operación . Fases o Etapa.

8. DESARROLLO PARA EL CALCULO DE LA DEMANDA HIDRICA GLOBAL COMO FASE OPERACIONAL PRIMERA

8.1. Demanda en Función de Area

8.2. Cálculo Volumétrico de la Demanda Global

8.3. Cálculo de los Valores del Caudal continuo mensual medio requerido.

8.4. Cálculo de los valores de dotación o relación Caudal/Superficie.

8.5. Graficación de la Curva de Demanda.

9. DESARROLLO DE LA ETAPA OPERACIONAL SEGUNDA ; NORMAS PARA EL CONTROL Y ADMINISTRACION DEL RECURSO

9.1. Actualización del Padrón de Regantes y/o del Registro de Cultivo

9.2. Volumen asignado a cada parcela o propiedad.

9.3. Balance de Asignación y de entregas, a nivel mensual

9.4. Movimiento y Control de Entregas.

9.4.1. Los Partes diarios de entregas

9.4.2. Control volumétrico de las entregas

IV

9.5. Aplicación y Uso de las ordenes de riego

10. CUANTIFICACION DE LA DEMANDA A DIFERENTES NIVELES, DIAGRAMADO Y TURNADO

10.1. Característica de los caudales de entrega y de manejo.

10.2. Caracterización del turnado, Base para el tiempo de Riego, Procedimiento de Lámina a intervalo.

10.3. Ordenamiento Progresivo en los Laterales de las superficies Actualizadas bajo riego a nivel predial.

10.4. Análisis del tiempo de riego para entrega volumétrica por turnado, a nivel de predio o regante

10.4.1. Tiempo unitario de Riego.

10.4.2. Tiempo de demoras

10.4.3. El tiempo de Riego para el predio.

10.4.4. Ajuste del Tiempo de Riego

10.5. Diagramado de Riego.

10.6. Planilla de Turno de Riego por Propiedad o Regante

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

<u>Número</u>	<u>Contenido</u>
1	Volúmenes Aprovechables de Río (Aguas superficiales).
2	Pronóstico de Volúmenes de agua aprovechable de Río.
3	Pronóstico de Volúmenes aprovechables de agua de Retorno y de Manantiales.
4	Relación y Característica de los pozos que abastecen de Agua Subterránea a los predios.
5	Volumen de Agua Subterránea aprovechable para el Período o Año Agrícola.
6	Análisis de Agua con fines de Riego.
7	Agrupación General de los Suelos a los fines del Riego
8	Agrupación de las Series de Suelos en cuatro grupos con fines de Riego.
9	Límites de los valores para las características de los suelos.
10	Límite de los valores para la característica textural de los suelos
11	Valores de diseño a asumir para el caso de tres agrupaciones de suelos.
12	Agrupación general de los Suelos : Superficie y porcentual en el área.
13	Cuadro de las propiedades físicas generales del Suelo y sus límites.
14	Listado y período vegetativo asumido de los Cultivos
15	Agrupación de los Cultivos con fines de Riego.
16	Superficie de la Cédula de Cultivos (Primera estimación).
F.1	Situación de los Cultivos dentro del Período Anual y de Riego
17	Uso consuntivo, Lámina neta o de reposición (por el proc. Blaney y Criddle).

<u>Número</u>	<u>Contenido</u>
T.1	Valores para la Fórmula $(t + 17,8/21,8)$ de Blaney y Criddle.
T.2	Valores P de insolación o resplandor solar (B. y Criddle).
T.3	Coefficientes K de Uso consuntivo mensual (B. y Criddle)
T.4	Valores medios mensuales de Radiación (Christiansen).
T.5	Coefficientes temperatura (Christiansen).
T.6	Coefficientes de velocidad del viento (Christiansen).
T.7	Coefficientes de humedad relativa (Christiansen).
T.8	Coefficientes de horas de sol (Christiansen)
T.9	Coefficientes de elevación (Christiansen)
T.10	Coefficientes de uso consuntivo (Christiansen)
18	Registro para los Coeficientes de la Fórmula de Christiansen.
19	Registro para el cálculo de la Temperatura promedio (F. de Christiansen).
20	Registro para el cálculo de la Velocidad del viento promedio (F. de Christiansen).
21	Registro para los datos de humedad relativa diaria en por ciento (F. de Christiansen).
22	Registro para el porcentaje de horas de sol (F. Christiansen).
23	Coefficientes K de los Cultivos aplicables a la Fórmula de Christiansen.
24	Registro de Valores de Uso consuntivo calculados por la Fórmula de Christiansen.
F.2	Relación entre Humedad relativa media diaria y Media al medio día (para Fórmula de Hargreaves).
T.11	Valores del Coeficientes K para la Fórmula de Hargreaves.
25	Registro para el desarrollo de la Fórmula de Hargreaves.
26	Indices volumétricos unitarios mensuales; su obtención

VII

<u>Número</u>	<u>Contenido</u>
27	Eficiencias de aplicación o manejo para sistemas de riego por Superficies.
28	Eficiencias de aplicación o manejo para sistemas de riego por Aspersión y Mecanizados.
29	Indices o Coeficientes Volumétricos mensuales de Riego.
30	Listado o Cédula de Cultivos-Ajustada o final
F.3	Diagrama de Flujo para el desarrollo del procedimiento del Plan de Cultivo y Riego.
31	Análisis de la Cédula o porcentual de cultivos y su Requirimiento unitario.
32	Balance de Disponibilidad o recurso hídrico versus Demanda.
33	Inventario de Canales
34	Inventario de Laterales de primer orden.
35	Inventario de Laterales de segundo orden
36	Inventario de Drenes.
37	Análisis de los Recursos Humanos disponibles en el Distrito
F.4	Gráfica de la aplicación del Sistema por Turnado en un Distrito de riego.
38	Cuadro para el Desarrollo de la Curva de Demanda (I).
39	Desarrollo de la Curva de Demanda (II).
F.5	Ejemplo de Graficación de la Curva de Demanda.
40	Ficha modelo para Padrón de Regantes.
41	Planilla para volúmen asignado a cada predio o propiedad.
42	Planilla de Balance de asignación y entregas.
43	Partes diarios de entregas
44	Planillas de control volumétricos quincenal de entregas.

VIII

<u>Número</u>	<u>Contenido</u>
45	Formulario para Ordenes de Riego
46	Cuadro de valores de Caudal según dotación
47	Planilla para el procedimiento de Lámina e Intervalo de riego.
48	Ordenamiento de la superficie regada por Laterales
49	Tiempos de Riego por predio
50	Diagramado para el riego
51	Cronograma para turnos de riego
52	Planilla de Turno por propiedad o regante

MANUAL PARA LA OPERACION DE RIEGO

Distribución y Entrega del Agua de Riego

INTRODUCCION GENERAL

De acuerdo a un Convenio efectuado entre el Ministerio de Agricultura del Perú, que ha sido implementado a través de la Dirección General de Aguas y, el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - OEA, actuando en la Zona Andina por intermedio de su "Programa de Riego", se ha acordado la confección de un MANUAL OPERATIVO a modo de Instructivo para la optimización en el desarrollo del proceso secuencial de la Operación de los Distritos y Sistemas de Riego.

Entendemos esencialmente como Operación, el proceso de Distribución Entrega, y el mecanismo que hace a la Administración o Control del recurso a nivel de Unidad Operativa.

Para llevar a cabo éste propósito, ha sido necesario el esfuerzo conjunto de un grupo de profesionales y técnicos de la Dirección General de Aguas, el especialista de la Dirección Regional para la Zona Andina del IICA, el apoyo de las diferentes Zonas Agrarias donde a través de cursos y experiencias se ha ido testando, afinando y corrigiendo parte del material que constituye el presente Manual Operativo y, múltiples sugerencias de técnicos concedores del Proyecto.

A éste respecto, se acepta que la programación que conviene llevar a cabo para la entrega, distribución y control del agua de riego debe considerar progresivamente una serie de elementos, pautas y etapas a seguir.

En gran medida los elementos involucrados atañen principalmente a los recursos, tanto naturales como humanos, que gravitan en las actividades de este tipo, entre los que cabe mencionar a los recursos básicos agua y suelo, infraestructura de distribución el personal de operación, las condiciones de división y uso de la tierra, las modalidades y sistemas adoptados por el regante, etcétera.

Para lograr una Operación de Riego eficiente, en primera instancia debe implementarse el Distrito de Riego en sus distintos niveles, comenzando por la sede Central de la Administración Técnica, hasta los Sectores y Sub - Sectores de Riego donde actúa en forma directa los Guarda Mayores, Sectoristas de Riego, Operadores, Tomeros y Aforadores.

En un sentido más profundo aún, se puede llegar a considerar la relación directa con el regante y el manejo a nivel de parcela.

El proceso de la Operación de Riego abarca las dos grandes etapas siguientes:

Primera Etapa

Comprende el estudio y análisis de los recursos naturales, humanos y otros elementos de que se dispone en el Distrito de Riego que se ha de operar con posibilidades de éxito y que, constituyen un conjunto de información y requisitos previos a la operación.

Segunda Etapa :

Comprende el planteo de la distribución en sí, que se lleva a cabo a través de una serie de pasos sucesivos que constituyen la metodología que se considera y se trata en este Instructivo.

La descripción de cada una de las actividades o pasos que se desarrollan en el presente Manual tiene como propósito principal servir de guía a los Técnicos que laboran en la Administración y Distribución de las Aguas.

Para lograr tal efecto, se ha dividido el presente Manual Operativo en tres grandes partes o capítulos:

Parte I .- Información y requisitos básicos previos

Parte II .- Planteo y metodología de base a adoptarse para la operación

Parte III .- Desarrollo de la operación

Esta última a su vez consta de tres fases:

- Fase operacional primera: Planteo y desarrollo de las Curvas de Demanda.
- Fase operacional segunda: Normas para el Control y Administración de Recurso.
- Fase operacional tercera: Cuantificación de la Demanda a diferentes niveles y diagramado para la Entrega.

Finalmente, cabe consignar en esta breve introducción la definición que, sobre el DISTRITO DE RIEGO ha llevado a cabo la Dirección de Distritos de Riego de la Dirección General de Aguas:

"El Distrito de Riego es un espacio geográfico continuo, delimitado dentro de una sub-cuenca, cuencas hidrográficas o sistema de cuencas, en cu

ya jurisdicción se ejerce la Primera Instancia Administrativa en materia de agua y dentro del cual existe por lo menos una área integrada natural o artificialmente por una o más fuentes de agua, dedicada principalmente a la producción agrícola, pecuaria y/o forestal, en lo posible mediante la realización de Planes de Cultivo y Riego.

Este espacio geográfico constituye una Unidad Jurisdiccional, operativa y funcionalmente indivisible para los efectos de la preservación, conservación, incremento y utilización racional de los recursos de agua, cuyo desarrollo se planifica en función del interés económico y social.

Los distritos de Riego cubren la totalidad del territorio nacional y el área integrada que contiene puede estar constituida por Sub-Distritos, Sectores y Sub-Sectores de Riego, según el caso para el logro de una más adecuada y eficiente administración de los recursos de agua".

PRIMERA PARTE

INFORMACION Y REQUISITOS BASICOS PREVIOS

El estudio y análisis de los factores que intervienen en la operación del riego, se inicia por los recursos naturales. En el presente caso, se comienza con el análisis del recurso natural primario, es decir AGUA, para continuar con el recurso SUELO y luego con el análisis de los otros elementos.

1. LOS RECURSOS HIDRICOS

1.1. Aguas Superficiales y Subterráneas : Su pronóstico

El conocimiento del recurso hídrico disponible surge de una evaluación hidrológica consistente, que se traduce en el pronóstico de la disponibilidad de agua para la formulación de los Planes de Cultivo y/o crianza y, de Riego.

Para que el pronóstico de disponibilidad de agua sea una información satisfactoria, se debe tener en cuenta lo siguiente :

1.1.1. Dentro del Distrito de Riego, se indicará el área bajo riego para la cual se efectúa el pronóstico.

1.2.2. El pronóstico debe incluir :

- Agua superficial aprovechable, mensualmente aportada por los ríos.
- Agua de retorno si hubiere, con indicación del o de los lugares de aprovechamiento (volumen mensual) .
- Agua almacenada en reservorios y/o lagunas controladas al inicio del año agrícola y el volumen aprovechable de

estas masas de agua teniendo en cuenta la reserva técnica, volumen muerto, pérdida por evaporación y en algunos casos el conocimiento de las pérdidas en la conducción hasta el punto de entrega.

- Agua subterránea con indicación de volúmenes mensuales por pozos o grupos de pozos según sus regímenes de explotación que se encuentran en un mismo predio con individualización del mismo, cuando son de uso particular y ; cuando son de uso comunal, la indicación de su ubicación y el área bajo riego que dominan.

1.1.3. Para el pronóstico de volúmenes mensuales de agua superficial aprovechable de los ríos se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Se indicará el nombre de la estación de aforos donde se realizaron las mediciones y que servirán de base para efectuar el pronóstico.
- Se indicará el hectareaje estimado bajo riego de la parte del valle ubicado inmediatamente aguas arriba de la estación de aforos, que no entre en el pronóstico que esté incluida en el área regada bajo control en la operación de riego, estimado los volúmenes mensuales que se utilizan en estas áreas para ser agregadas al pronóstico a nivel de estación de aforos.

- Se considera para los cálculos de los volúmenes mensuales aprovechables la capacidad máxima de captación de los canales de derivación, del sistema de distribución de aguas y, de reservorios.
- Con base al valor de la capacidad máxima de captación de los canales de derivación y a las descargas medias diarias se determinará las descargas medias diarias aprovechables y, por lo tanto, los volúmenes mensuales aprovechables.
- El período de registros de descargas medias diarias para elaborar el pronóstico, debe tomarse con base a los registros de los últimos 13 años.
- Se debe mostrar un cuadro en el que figuren los volúmenes mensuales aprovechables de los últimos 10 a 14 (comúnmente 13) años agrícolas que servirán para el cálculo del pronóstico, para permitir estudiar posibilidades de un margen de déficits de agua en los planes de riego.
- En valles con reservorios de regulación, se considerará como pronóstico, el año agrícola cuya masa anual aprovechable tiene el 75% de duración.
- En valles, sin reservorios de regulación, se considerará como pronóstico el año agrícola, cuya masa anual y masas

mensuales en los meses de estiaje corresponden o se aproximan cada una de ellos al 75% de duración .

1.1.4. La información del pronóstico de disponibilidad de masas de agua se sugiere sea presentada en los siguientes cuadros:

Cuadro N° 1..- De volúmenes aprovechables de masas de agua para el río o cauce considerado.

En este cuadro se considera el nombre del río o cauce; el período de registro considerado para el cálculo en años agrícolas (recomendable 13 últimos años); el nombre de la estación de aforos, Distritos, Sub-Distrito y del Sector de Riego (Sólo si el pronóstico se efectúa a este nivel). En la primera columna se indicará los años agrícolas sucesivos y en las siguientes 12 columnas se indicarán los meses ordenados cronológicamente desde el inicio del año agrícola.

El Cuadro N° 2..- De pronóstico de los volúmenes de agua aprovechables del río o cauce para el área considerada.

En su parte inferior se indica el pronóstico de volúmenes de agua aprovechables de reservorios o lagunas, solamente en los casos que existen estas estructuras. La segunda columna de este cuadro, se refiere a los volúmenes mensuales del pronóstico para el área regada aguas abajo de la estación de aforos (Sujeta a registro). La tercera columna se refiere a los volúmenes de agua utilizados o necesarios agua arriba de la estación

de aforos (no sujeta a registro), en el área regada bajo control de la Administración Técnica.

De tal forma la columna N° 4 indica el pronóstico de volúmenes aprovechables para toda el área bajo control.

El Cuadro N° 3.- Con los pronósticos de volúmenes aprovechables de agua de retorno y de manantiales para el año agrícola

En la columna dos de este cuadro, se considera los volúmenes de agua de retorno, provenientes ya sea de filtraciones directas o de la red de las aguas.

La columna tres se refiere a los casos que exista agua de manantiales o "puquios" .

El Cuadro N° 4 .- Relación y característica de los pozos que abastecen de agua subterránea.

En éste, en la columna uno, se indicará por ejemplo el N° de pozo en el inventario. En la columna dos, se indicará el número catastral y/o el nombre de los predios que son abastecidos por el pozo; en la columna tres, se indicará el código de ubicación geográfica, del predio; en la cuarta columna se indicará el régimen de trabajo del pozo en horas por día, luego se indicará el período de explotación en días por mes y finalmente meses de explotación por año.

El Cuadro N° 5 .- Volúmenes de agua subterránea aprovechables para el año agrícola.

En la primera columna se indicará el N° del pozo en el inventario y en las siguientes columnas se anotarán los volúmenes de agua en miles de metros cúbicos para los meses de explotación.

1.2. CALIDAD DE AGUA PARA EL RIEGO

Siendo la calidad del agua, desde el punto de vista agronómico un factor que puede tanto beneficiar como generar problemas en los cultivos, es necesario analizarlo para conocer las limitaciones de su empleo con fines de riego.

Sobre este aspecto se cuenta con una frondosa bibliografía y multiplicidad de tablas para la tipificación de valores límites, parte de las cuales han sido incluidas en la Ley General de Aguas (D.L. 17752) del Perú y sus reglamentos.

A fin de asumir un criterio uniforme a este respecto, se han considerado oportuno adoptar la metodología de análisis y clasificación desarrollada por el USDA (Lab. de Salinidad, Riverside, Cal. USA), ampliamente considerado en el Manual o Handbook N° 60. En síntesis los elementos de análisis son los siguientes:

- Origen del agua (lugar y clase de fuente).
- Contenido de Sales solubles totales, medida de preferencia por conductometría y expresada en "micro-mhos" por cm. a 25°C (es decir, $CE \times 10^6$).
- Contenidos de Cationes y Aniones expresados en mili-equivalentes por litro (me/lit).

CUADRO N° 1 : VOLUMENES APROVECHABLES DE MASAS DE AGUA PARA EL RIO O CAUCE CONSIDERADO

VOLUMENES APROVECHABLES DEL RIO PARA EL PERIODO
 ESTACION DE AFORO DISTRITO DE RIEGO SUB-DISTRITO
 SECTOR DE RIEGO (*)
 (En millones de metros cúbicos)

AÑO AGRICOLA	M E S E S												TOTAL ANUAL	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
19.....														
TOTAL :														

(*) Sólo en el caso que proceda

CUADRO N° 2 : PRONOSTICO DE LOS VOLUMENES DE AGUA APROVECHABLE DEL RIO O CAUCE

PARA EL AÑO AGRICOLA

DISTRITO DE RIEGO SUB-DISTRITO DE RIEGO

SECTOR DE RIEGO (*) (En miles de metros cúbicos)

	Volúmenes aprovechables controlados en la estación de aforos	Volúmenes de agua utilizados en las áreas regadas por las tomas ubicadas entre la estación de aforos y la cabecera del área bajo control.	Volúmenes aprovechables en el área bajo control de operación de riego. (Pronóstico)
1	2	3	4
TOTAL ANUAL			

(*) Sólo en el caso que procede

PRONOSTICO DE VOLUMENES DE AGUA APROVECHABLE DEL RESERVORIO CONTROLADO

Miles m³

- a) Probable volumen almacenado al inicio del año agrícola
- b) Volumen necesario para la reserva técnica, incluido el año muerto
- c) Probable volumen disponible : $a - b =$

CUADRO N° 4 : RELACION Y CARACTERISTICA DE LOS POZOS QUE ABASTECEN DE AGUA SUBTERRANEA A LOS PREDIOS.

AÑO AGRICOLA DISTRITO DE RIEGO
 SUB-DISTRITO DE RIEGO SECTOR DE RIEGO (*)

N° del Pozo en el Inventario.	N° Catastral y/o nombre de los pre- dios regados por el pozo.	Código de Ubicación Política del Predio.	Características y régimen de trabajo de los pozos.			Observaciones
			Caudal m ³ / hora	Régimen hr / día	P e r í o d o día / mes meses / año	

(*) Sólo cuando el pronóstico de las disponibilidades de agua aprovechables se efectúa a este nivel

- Contenido de los cationes Boro y Fluor, expresado en partes por millón (p.p.m.)
- pH (Grado de acidez y/o alcalinidad expresado con el valor del logaritmo de la inversa de la concentración de los iones hidrónio)
- Grados RAS. Esto último, cuando el contenido de sales y en especial del catión sodio, así lo determine.

Estos datos pueden volcarse en una planilla resumen, como se muestra en el Cuadro N° 6, Análisis de agua con fines de riego.

Dada la naturaleza de este Manual, no es dable entrar en la metodología o interpretación de detalle de las características químicas del agua. Como se ha mencionado anteriormente, este dato lo aporta la sección con su diagnóstico, es decir, que el laboratorio recurre con la planilla de referencia con base a la que debe hacerse la interpretación de la o, las muestras y, solamente en el período inicial de inventario o de estudio del área.

2. ESTUDIO DE LOS SUELOS

Continuando con los recursos básicos considerados se ha de desarrollar seguidamente lo relativo al análisis y estudio de los suelos para riego. La información por lo general relativa a suelos se apoya en estudios ya existentes en esta materia tales como:

- Estudio edafológico o pedológico con clasificación hasta nivel de serie, cuando ésta esté bien definida.
- Clasificación de los suelos por aptitud de uso de riego. Se cuanta a la fecha

con material bibliográfico muy completo en este tema de importancia para áreas nuevas, pero de poca aplicación en planes de operación y ordenamiento del riego.

- Para los fines de la Operación de riego, se recomienda proceder al agrupamiento de los suelos en función de las características texturales, que definen en gran medida asimismo la capacidad del almacenamiento de humedad útil.

Esto es importante para el posterior cálculo de lámina a aplicar por riego y otros factores. (Elementos para el diseño).

Inicialmente, puede considerarse entre tres o lo más cuatros grandes agrupaciones de suelo con fines de riego. En un futuro y a medida que se requiere mayor grado de exactitud en la operación de riego, podrá aumentarse el número de grupos.

Así por ejemplo en el caso de contar con tres grandes grupos, se ordenaría del siguiente modo :

Suelos Suelos	(Livianos o arenosos)
Suelos Francos	(Medianos o Migajosos)
Suelos Pesados	(Arcillosos o Compactos)

Las características que los diferencian están dadas por su :

Textura

Capacidad de almacenamiento de humedad útil

Infiltración Básica

Drenabilidad, etc.

CUADRO N° 7. AGRUPACION GENERAL DE LOS SUELOS A LOS FINES DE RIEGO.

- Por Textura -

1. SUELOS ARENOSOS

Comprende los suelos sueltos y livianos de textura:

- . ARENOSOS
- . ARENOSO-FRANCOS
- . ARENO-FRANCO-LIMOSOS
- . ARENO-ARCILLOSO-SUELTOS
- . FRANCO-ARENOSO-GRUESOS

2. SUELOS FRANCOS

Abarca los suelos medianos o migajones de textura:

- . FRANCOS
- . FRANCO-ARENOSO-MEDIANOS
- . FRANCO-ARENOSO-FINOS
- . FRANCO-ARCILLO-ARENOSOS
- . FRANCO-MARGOSOS
- . ARENO-ARCILLOSO-FINOS
- . LIMOSOS

3. SUELOS ARCILLOSOS

Incluye los suelos pesados o compactos de textura:

- . FRANCO-ARCILLOSO-COMPACTOS
- . FRANCO-ARCILLO-LIMOSOS
- . ARCILLO-ARENOSO-COMPACTOS
- . ARCILLO-LIMOSOS
- . ARCILLOSOS

CUADRO N° 8: AGRUPACIÓN DE LAS SERIES DE SUELOS EN CUATRO GRUPOS CON FINES DEL RIEGO

Grupo	Serie Incluidas	Infiltración básica Escala Soil Survey Manual (mm / hora)	Profun- didad	Textura	Wc	Wm	A.A	Densidad Aparente (gr/cm^3)	Capacidad (mm / dm)	Almac.Hum Promedio (mm / dm)
I	Hospital Quilmaná Cafete Imperial etc.	33 - 130 Rápida a muy rápida	0 - 30	Fr.A-AFr	16 - 9	3 - 4	5 - 5	1.50 - 1.60	10	9
			30 - 160	A. grava	9	4	5	1.65	3	
II	Tacama	20 - 31 Moderada mente rápida a rápida	0 - 50	Fr - FrA	19-17	10-9	9 - 8	1.45 - 1.50	12	10
			50 - 160	A - Fr	9 - 10	4 - 5	5	1.65 - 1.60	8	
III	Muchumi Tucumi	13 - 23 Moderada- mente lenta a moderada	0 - 160	Fr	18	10	3	1.45	12	12

Valores Promedio (*)

(Continuación)

CUADRO N° 8 AGRUPACION DE LAS SERIES DE SUELOS EN CUATRO GRUPOS CON FINES DE RIEGO

Grupo	Series Incluidas	Infiltración Básica Escala la Soil Survey Manual (mm / hora)	Profundidad	Texture	Wc	Wm	A.A	Densidad Aparente (gr/cm ³)	Capacidad (mm / dia)	Almac. Hum Promedio (mm/dm)
		16 - 22	0 - 40	Fr-FrAr	22-29	12-16	10-13	1.40 - 1.35	15	15
		Moderada	40 - 160	Fr ArL-Fr	32-19	19-10	13-9	1.30 - 1.45	15	

(*) Valores Promedio

Trabajo procesado por la Sub-Dirección de Agrología de la Dirección General de Aguas, para el Distrito de Riego de Cañete.

Las clases texturales a los efectos operativos se muestran en el Cuadro N° 7 que comprende las tres agrupaciones de suelos para fines de riego. Cuando se considera en cambio cuatro grupos de suelos, estos varían en sus clases texturales (Como se muestra en el Cuadro N° 8 que ya es de aplicación a un área dada y que se analizará más adelante).

2.1. Detalle de las Agrupaciones de los Suelos

Puesto que se trata de un concepto muy aplicado, se estima oportuno entrar en un mayor detalle a este respecto. Así se admite que los grupos mantienen cierto límite que encuadra dentro de valores relativos, por ejemplo en la capacidad de almacenamiento de humedad útil en la filtración y en otros factores para profundidades corrientes de suelo hasta unos 60-80 cm. (por encontrarse dentro de esta profundidad el 70% o más de las raíces de la mayoría de los cultivos).

Para los tres grupos de suelo primeramente considerados los límites se ubican dentro de los valores que se detallan a continuación :

CUADRO N° 9 Límites de los valores para la característica de los suelos en las agrupaciones establecidas :

Agrupaciones de Suelos	Capacidad de almacenamiento de humedad útil (mm / dm) .	Infiltración básica (mm / hora)	Dreabilidad
Arenosos Livianos Suelos	4 a 10	Mayor de 25	Alta
Migajones Francos Medianos	12 a 16	10 a 25	Mediana
Pesados Arcillosos Compactos	18 a más	2 a 10	Restringida

Del mismo modo general puede considerarse los siguientes valores en cuanto a la capacidad de almacenamiento de humedad, infiltración básica y drenabilidad para la clasificación en cuatro grupos texturales:

CUADRO N° 10 Límites de los valores para la característica texturales de los suelos.

Agrupaciones de Suelos	Capacidad de almacenamiento de humedad útil (mm /dm)	Infiltración básica (mm /hora)	Drenabilidad
Muy gruesos	3 a 8	80 a 200	Muy alta a alta.
Medianamente grueso .	6 a 12	25 a 50	Mediana
Franco o Moderadamente finos	10 a 15	12 a 20	Moderad. mediana a baja
Muy finos (Compactos)	18 a más	3 a 10	Baja a muy baja

Puesto que la función que cumple esta agrupación de los suelos es disponer de datos relativos a la capacidad de almacenamiento de humedad útil e infiltración básica para su uso en diseño de riego, se hace necesario adoptar el siguiente criterio.

Primero :

Ante un denominado suelo o serie de suelo no analizado en función de su capacidad hídrica como se da en los casos corrientes se lo ubica en razón de su característica textual, encuadrándolo en consecuencia dentro de una de las agrupaciones antes detalladas.

Esta situación se ratifica, de ser viable, con el ensayo de infiltración en el campo.

Segundo : Ubicado el suelo dentro del grupo, se le deberá asignar un valor específico para cada parámetro considerado.

Ante esta decisión a tomar y hasta tanto se posea datos concretos de dicha serie o valores de análisis que permiten ajustar las cifras asumidas en primera instancia, se adoptará para cada agrupación los valores de diseño recomendados siguientes que le confieren un valor aplicativo a los conceptos anteriores.

CUADRO N° 11 Valores de diseño a asumir para el caso de tres Agrupaciones de Suelos :

Agrupaciones de Suelos	Capacidad de Almacenamiento de humedad útil (mm/dm).	Infiltración básica (mm /hora)	Drenabilidad
<u>Arenosos o gruesos</u> Caracterizados también como livianos o sueltos	6 a 8	25 a 40	Alta
<u>Francos</u> Caracterizados también como medianos o Migajones	12 a 14	12 a 18	Mediana
<u>Arcillosos o finos</u> Conocidos también como Pesados o Compactos.	18 a 24	3 a 6	Restringida

Del mismo modo, podemos ajustar los valores que se refieren a la capacidad de almacenamiento y humedad aprovechable, infiltración básica y drenabilidad para la clasificación utilitaria en cuatro grupos de Suelos. Un ejemplo se muestra en el análisis y clasificación de los Suelos efectuado en el Distrito de Riego Cañete por la Sub-Dirección de Agrología de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Agricultura. (Ver Cuadro N° 7).

Mientras no se define el parámetro suelos a través del estudio secuencial del mismo o mediante análisis "inti situ", se adopta los valores consignados, con el ajuste que el técnico operador estime oportuno. Contando con los suelos agrupados en función de los elementos mencionados, se establece para cada unidad de análisis (Distrito, Sub-Distrito, Sector de Riego, etc.) La superficie que abarca cada agrupación y el porcentual que ello representa, tratando de proyectar su incidencia a áreas definidas, como son los sectores de riegos.

Este dato puede tabularse en la forma que se muestra en el Cuadro N° 12, la que por su sencillez no requiere explicación.

2.2. Información complementaria para suelos :

Si la información con que se cuenta, surgida de un estudio exhaustivo es mucho más completo, la clase y/o serie de suelo, puede caracterizarse en función de sus constantes hídricas, densidad aparente, capacidad de almacenamiento de humedad útil, etc., incluso si la experimentación de campo ha sido efectuada con cierto detalle, es dable también obtener pautas para el riego a nivel de unidad menor, tales como: "Tiempo de Infiltración" (T_i) y tiempo de avance (T_e). Estas pautas pueden resumirse a través de planillas complementarias.

Dicha información no sólo cumple un importante papel dentro del proceso secuencial de operación, sino que también nos permite plantear recomendaciones a nivel de canales o laterales manejados por técnicos de mando medio y, aún cooperativas o unidades agrarias.

En el riego, la información requerida del suelo permite efectuar su caracterización y el cálculo de Lámina de aplicación e intervalos de riegos, entre otros pasos del proceso.

Estos elementos de diseño y otras pautas, determinadas para los suelos en el área o distrito son complicados, ordenados, evaluados y planillados según se ha visto en la forma mencionada. Para los casos especiales de áreas muy heterogéneas en que se analiza con mayores detalles algunas series de suelos a través de numerosos calcatas en el campo y surge por ello una caracterización por profundidad a perfiles diferenciados, se puede recurrir a cuadros adicionales que establecen las constantes y valores anteriores según los horizontes (por capa diferenciada o por profundidad de 0.30 en 0.30 m); incluso teniendo en cuenta también la relación : "suelo-cultivo-profundidad de mojado" para las explotaciones dominantes en el área. Esta mayor información es sólo en contados casos.

Tienen valor en esta caracterización más afinada las constantes h_fdricas ya mencionadas, capacidad de campo (W_c) y punto de marchitez (W_m) consignándose así mismo, de contar con este dato, la humedad del suelo correspondiente al límite crítico o de trabajo considerado (Así por ejemplo, para la caña de azúcar en ciertas zonas éste se ha fijado en un rango que va entre 1.5. a 2.5. bares o atmósferas de succión). Como ele

CUADRO N° 12 AGRUPACION GENERAL DE LOS SUELOS

SUB-DISTRITO

DISTRITO

SECTOR

SUB-SECTOR	GRUPOS DE SUELO PARA RIEGO						OBS.		
	1: Gruesos o Arenosos		2: Medianos o Francos		3: Finos o Arcillosos			Otros: (*)	%
	Superficie (Há)	%	Superficie (Há)	%	Superficie (Há)	%			

VER CROQUIS N°

(*) Puede incluirse en esta columna otros suelos con problemas especiales (afectados por sales en el perfil, con necesidad de lavados etc)

CUADRO N° 13 - PROPIEDADES FISICAS GENERALES DEL SUELO Y SUS LIMITES

Tipo de Suelo por textura	Capacidad de campo % (Wc)	Punto de marchitez % (Wm)	Infiltrac. Básica mm/hora (lb)	Peso específico o densidad aparente	Agua disponible en mm/dm aprox.
1	2	3	4	5	6
ARENA	6 2 - 10	3 1 - 5	150	1,70	5
ARENA FRANCA	11 8 - 13	6 3 - 6	50	1,60	8
FRANCO ARENOSO	16 13-19	8 7 - 10	20	1,50	12
FRANCO O MEDIANO NORMAL	22 18-26	10 8 - 12	12,5 8 -20	1,40	16
FRANCO LIMOSO O FRANCO LIGERAMENTE ARCILLOSO	25 27-35	13 12-17	7,5 5-10	1,35	19
ARCILLOSOS, ARCILLOSOS COMPACTOS	35 30-39	17 15-19	5 3-6	1,25	22

* Del S.C.S. Israelsen y Sub- Direccion de Agrología (DGA)

En las columnas 2,3,4 el valor superior representa la moda o valor mas frecuente. Las cifras situadas inmediatamente debajo se refieren al rango normal de variación .

mento de apoyo para asumir valores de diseño en suelos, se acompaña la siguiente tabla de constantes físicas ajustadas por la Dirección de Agrología de la Dirección General de Aguas, contenida en el Cuadro N° 13.

3. CULTIVOS O EXPLOTACIONES

Este aspecto es de fundamental importancia, sobre todo para el establecimiento de la cédula de cultivos y el análisis del porcentual previo al cálculo de los requerimientos de riego que, proyectados a nivel de sector, canal u otra unidad se traducirá en las diferentes curvas de semanas con fines de operación.

Básicamente este ítem tiende a ser resuelto por el grupo de Técnicos que elaboran anualmente los denominados Planes de Cultivos y Riego. En principio, dichas planes deben estar en coordinación con :

- El Plan Nacional de cultivos que para cada período agrícola consideraran los Ministerios de Agricultura y de Alimentación en forma coordinada, para apoyo de las metas y objetivos agrícolas previstos en el Plan Nacional de Desarrollo y las necesidades alimenticias.
- La zonificación agraria progresiva que surge como consecuencia del análisis de situación en los que respecta a la ubicación por Distrito agroclimática y rédito o beneficio socio-económico. Este análisis es practicado a nivel de Zona Agraria por la o, las Sub-Direcciones u oficinas respectivas, dentro de la planificación anual.
- Los límites que el pronóstico de disponibilidad hídrica fija para el ejercicio o año agrícola, actuando en principio sobre el Plan de Rie

go, es decir con la relación a su consumo volumétrico mensual.

- Posibilidades de crédito de las explotaciones, cuando su implantación está apoyada por el sistema de crédito agrario y, asimismo, el aspecto de las limitaciones que establece las condiciones de mercado regional, capacidad de ubicación como producto o renglón, consumo interno o exportable, etc.

Aquí es donde cumple un papel fundamental la coordinación de todos los organismos que intervienen en la explotación agrícola para la mejor adecuación de la cédula de cultivo resultante, con el objeto de obtener el mayor aprovechamiento del agua de riego.

A los efectos de contar en forma ordenada con los elementos de juicio dentro de este capítulo relativo a las explotaciones o cultivos, convenientemente dispuestos para procesado de la operación, se sugiere confeccionar la siguiente documentación de base.

3.1. LISTADO Y DETALLE DE LOS CULTIVOS

Partiendo del parámetro o línea "Cultivos", se recomienda el siguiente desarrollo :

PRIMERO : Proceder a confeccionar un listado de los Cultivos a modo de cédula básica (aún no porcentualizada) donde se considere todos los cultivos presentes y a regar, según se muestra en el Cuadro

Nº 14 adjunto.

Como es usual generalizar en cuanto a las explotaciones y colocar por ejemplo "Hortalizas del ciclo corto", es recomendable completar

**CUADRO N° 14 LISTADO O CEDULA DE CULTIVO NO
PORCENTUALIZADOS**

Distrito

Sub-Distrito

Sector

Sub-Sector

Período, año

C U L T I V O	CICLO ASUMI- DO (días)	OBSERVACIONES
1. Frutales de Hojas Caducas	180 - 270	El período y meses de riego debe ajustarse con la encuesta y observaciones regionales.
2. Frutales de Hojas perennes	210 - 300	
3. Plátano	Todo el año	
4. Vid	150 - 180	
5. Alfalfa	Todo el año	
6. Pasturas regadas	Todo el año	
7. Sorgo Forrajero	130 - 160	
8. Caña de Azúcar	270 - 360	
9. Algodón	180 - 270	
10. Arroz	150 - 180	
11. Maíz (Grano)	120 - 150	
12. Maíz (Chala-Choclo)	90 - 120	
13. Sorgo (Grano)	120 - 150	
14. Papa	140 - 160	
15. Camote	120 - 150	
16. Yuca	210 - 270	
17. Hortalizas mayores	120 - 180	
18. Hortalizas menores	30 - 120	
19. Legumbres y Menestras	120 - 150	
20. Trigo y otros Cereales	120 - 150	
21. Cucurbitáceas	120 - 150	
22. Tabaco	140 - 160	
23. Flores	Todo el año	
24. Forestales	Todo el año	

(*) : El ciclo asumido se interpreta a los efectos de su relación con el riego

el listado anterior con un detalle de la "Agrupación de los cultivos con fines de riego", según se muestra en el Cuadro N° 15, que también se agrega adjunto.

Por su sencillez, dichos elementos de apoyo no necesitan explicación complementaria.

SEGUNDO: Seguidamente y, con el fin de darle consistencia al concepto de Cédula de cultivos, se procede a fijar la superficie cultivada o sembrada y el porcentual correspondiente a cada cultivo, con relación al área global de trabajo, pudiendo adoptarse para tal propósito el Cuadro N° 16 que se agrega como primera estimación.

Como en esta primera etapa se establece la demanda en función básica (global), la unidad a considerar será en este caso, partiendo de mayor a menor y dentro de un concepto "centrípeto", el Distrito en primer lugar, luego el Sub-Distrito, etc. hasta concluir como corrientemente ocurre con el Sector de Riego.

Ello es así en primera instancia, porque muchas administraciones de agua inician el proceso operacional dentro de este concepto de "primera aproximación" al consumo o demanda. Se establece entonces una curva de demanda básica hasta nivel de sector por ejemplo, unidad de área que en gran medida coincide con la infraestructura del Lateral de primer o segundo orden; desde allí se entrega el agua al regante en forma continua, dejando liberado al usuario las etapas posteriores de "volumen/predio, "caudal, tiempo", "turno de riego" etc.

CUADRO N° 15. AGRUPACION DE LOS CULTIVOS CON RINES DE RIEGO.

GRUPO	CULTIVO
Forestales	Eucalipto Vivero Forestal Alamo, otros
Frutales de hojas Caducas	Manzano Peral Membrillero Duraznero Ciruelo
Frutales de hojas Perennes	Cítricos Tropicales Olivo, otros
Pasturas bajo riego	Gramalote Crotalaria Sudán Pangola, etc.
Hortalizas generalmente con más de 4 meses de período vegetativo	Tomate Pimiento Maíz según variedad Ajo Cebolla (bulbo) Coliflor Repollo
Hortalizas menores (hasta 4 meses de período vegetativo)	Ajo Poro (puerro) Beterraga (remolacha) Zanahoria Maíz según variedad Apio Nabo Perejil Lechuga Vainita (chaucha) Cebolla de hoja Rabanito

(Continuación)

Cuadro N° 15 . Agrupación de los Cultivos con fines de Riego .

Grupo	Cultivo
Legumbres y menestras	Frijol Arveja Arvejon Pallar Haba Lenteja Locao Moquegua (poroto) Chileno (poroto) Garbanzo
Cucurbitáceas	Sandía Melón Zapallo, etc.
Cereales	Trigo cebada Centeno

Si la Junta de Usuarios o Comisión de Regantes está suficientemente implementada (tanto en recurso humano con técnico) como para continuar de por sí el proceso de distribución del agua al predio, la entrega del agua hasta este nivel será sumamente sencilla por parte del Jefe de Sector, ya que su cometido se limita a establecer en toma de lateral que sirve al sector (o sub-sector) al caudal de paso continuo fundamentalmente, el cual corresponde cuantitativamente a la superficie servida.

Prosiguiendo con la documentación básica, tenemos:

TERCERO: Se procede a ubicar los cultivos con relación al período de riego. (Factor tiempo).

Para tal propósito se recomienda apelar al apoyo gráfico, logrado a través de un diagrama de situación como el que sugiere en la Figura N° I que fija la incidencia mensual de los cultivos, a modo de ejemplo.

Las explotaciones pueden ordenarse prioritariamente por grado de importancia dentro del Distrito o, sino, por orden alfabético.

Por lo común se asume el primer criterio.

Este gráfico es de valor al ir considerando la demanda mes por mes ya que nos permite establecer "a priori" que cultivos deben ser tenidos en cuenta para el cálculo de la demanda; para seguir el ejemplo que se adjunta, si tomamos en cuenta el mes de setiembre, pongamos por caso, deberemos considerar la demanda en el área de riego para la Alfalfa en sus diferentes tipos, la Vid, las explotaciones hortícolas

SITUACION DE LOS CULTIVOS (PLANILLA EJEMPLO)

DISTRITO: _____ SUB-DISTRITO: _____

SECTOR: _____ AÑO: _____

CULTIVOS	M E S E S											
	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
<i>Alfalfa, Tipo Nueva</i>												
<i>Alfalfa, Tipo Semilla</i>												
<i>Alfalfa, Tipo Pasturas</i>												
<i>Vid, (Uva de Mesa)</i>												
<i>Frutales, de Pepita</i>												
<i>Frutales, de Menor Distancia</i>												
<i>Tomate</i>												
<i>Pimiento</i>												
<i>Exp. Hortícolas</i>												
<i>Maíz</i>												
<i>Cereales</i>												
<i>Pasturas Regadas</i>												

Figura N° 1 - SITUACION DE LOS CULTIVOS DENTRO DEL PERIODO ANUAL Y DE RIEGO

(a aclararse en los grupos de cultivos), los Cereales y las Pasturas regadas.

Hasta que grado puede ajustarse la Cédula de Cultivos con relación al área, depende de varios factores, tales como:

poca en que se plantean las curvas de demanda globales anticipadas; corrientemente, las mismas se llevan a cabo entre los meses de abril a junio (luego del gran período de cosecha del verano) y, la consistencia de los datos relativos a superficie cultivada y regada en el sector o en el distrito, dependerá de la prontitud con que los productores han diligenciado la tramitación relativa a presentación de planes de cultivo.

La información estadística dentro de la Administración del Distrito de Riego (corrientemente, Oficina de Estadística y Padrones) que mantiene "Al día" los datos del área cultivada y regada. Aunque esta operación es sencilla en los distritos donde predomina el cultivo permanente (frutales, vid, etc.) o áreas de mono-cultivo en general, se hace compleja en aquellas zonas donde las explotaciones anuales son prioridades y además, debe considerarse el establecimiento porcentual básico de los "cultivos de pan llevar". Ello hace fluctuar año a año y aún mes a mes la superficie destinada a determinadas explotaciones y se requiere una gran experiencia en la zona para ajustarse lo más posible a situaciones reales.

Un caso concreto se produce por ejemplo con el cultivo del maíz, que en la región de la costa, centro y sur del país, se siembra prácticamente to dos los meses del año, pero que no obstante, debe ajustarse a un cierto ca-

lendarlo lógico ya que, al entrar en explotación cada vez una cierta superficie de maíz dentro del total cultivado con dicha especie, varía el requerimiento/área; ello se complica más si al mismo tiempo, concluye el ciclo de otro cultivo o superficie sembrada con anterioridad y que en ese mes, es susceptible de cosecha.

Con idea de normalizar en este aspecto, se ha considerado por ejemplo para las regiones antes mencionadas el siguiente Calendario para el Cultivo del Maíz :

MAIZ (grano)

Primera siembra : Enero

Segunda siembra : Marzo

Tercera siembra : Junio

Cuarta siembra : Agosto

El ciclo o período básico para fines de riego, es de 120 a 140 días.

MAIZ (Chala-Choclo)

Primera siembra : Abril

Segunda siembra : Agosto

Tercera siembra : Diciembre

El ciclo o período básico con fines de riego varía en función del propósito, pero puede encuadrarse, previa declaración de los productores entre 130 a 150 días.

Caracterizados los cultivos o explotaciones, se define su requerimiento hídrico en función de la metodología existente o recomendada al efecto.

De acuerdo a los elementos aportados con anterioridad al proceso de

la operación misma se debe proceder al cálculo del Uso consuntivo y lámina neta de reposición, expresada luego en volumen e incrementada por la eficiencia de aplicación y llevada finalmente a índice o coeficiente, según una metodología ya establecida, la que será desarrollada.

3.2. Calculo del Uso Consuntivo de los Cultivos, base para el logro del requerimiento o necesidad de Riego.

Con el objeto de determinar los requerimientos hídricos de los cultivos que se desarrollan en una determinada área, se presenta tres fórmulas las más corrientemente aplicables que han sido desarrolladas por investigadores que, con el empleo de elementos climáticos de la zona y factores de corrección o ajuste, sirven para obtener el uso consuntivo y posteriormente las necesidades de riego de los cultivos.

Dicho cálculo establece el punto de partida para obtener los consumos mensuales unitarios de riego, es decir, la lámina o el volumen (según la expresión), por unidad de área a nivel de cultivo, parcela o predio.

Al entrar a considerar la eficiencia de aplicación o manejo con que se lleva a cabo el riego sobre la parcela, el consumo se define como lámina bruta.

Proyectando dicho consumo hacia un criterio de evaluación de demanda en razón de cultivo y por unidad de área, se obtiene lo que se llama coeficiente unitarios de riego, es decir módulos o consumos unitarios volumétricos mensuales, por cultivo.

Aunque los procedimientos con que se cuenta para el cálculo del uso consecutivo y evapotranspiración potencial son muy numerosos y en gran parte se han desarrollado para su uso en determinadas regiones, es recomendable adoptarse para nuestro medio criterios definidos, para uniformizar una metodología base en los cálculos. Al respecto y como recomendación general se tiende a emplear los siguientes métodos:

- El procedimiento conocido como fórmula de Blaney y Criddle (modificado) cuya ventaja en relación a otros métodos, es que puede contar con los denominados "coeficientes K de los cultivos" que corrigen y ajustan la evapotranspiración potencial o uso consuntivo mensual de los cultivos a nivel regional. Esta fórmula es muy conocida en toda América y da buenos resultados en zonas áridas, a pesar de su simplicidad.
- El procedimiento que se apoya en la ecuación de Christiansen (Utah) donde han intervenido, aparte del primero, otros investigadores de la Universidad de Utah, como Patil, Mathinson, Grassi y presentada asimismo en México, en 1968, con el investigador Hargreaves.
- Cabe mencionar otros procedimientos para el cálculo del uso consuntivo de los cultivos y evapotranspiración potencial, que se han desarrollado en parte sobre la base del procedimiento Christiansen, como la fórmula desarrollada de Grassi-Christiansen (Fórmula 3a) y fundamentalmente la fórmula de Hargreaves, cuya aplicación se

analizará. También se cuenta con numerosos métodos de evapo - transpiración potencial.

Finalmente se debe mencionar que donde hay una estación experimental para ensayos de consumo o necesidades de agua, conviene ratificar los requerimientos en función de experiencias de campo mediante el análisis del balance del consumo de agua ya sea a nivel de melga o de parcela experimental, para luego utilizar los datos experimentales en toda una región, haciendo las correcciones necesarias, y más estrechamente, correlacionar Evaporación en tanque con Evapotranspiración potencial primero y real después .

Este último método tiene la ventaja de plantear situaciones proligamente reales y permite ubicar los niveles óptimos de trabajo, estableciendo para los cultivos principales el umbral crítico de succión y fijando el rango de humedad más favorable en relación con la capacidad de almacenamiento de los suelos, en función del testado directo.

De los métodos básicos que se recomiendan, se describe en forma ordenada los pasos a seguir para el desarrollo y aplicación de su cálculo.

(Tomado del Instructivo N° 1 DGRA-IICA, 1975).

3.2.1. El Procedimiento de Blaney y Criddle y su desarrollo

Al citar en primer término éste método que es tan conocido , estamos conscientes de que su aplicación no siempre es satisfactoria ni resulta técnicamente del todo correcto, por ser quizás demasiado simple .

No obstante, aún se le considera de indudable validez en razón de esta misma sencillez, dado que requiere únicamente da tos meteorológicos corrientes y que, un adecuado ajuste de las ob coeficientes K de cultivo por zona o región permite lograr el ob jetivo principal buscado, contando así con valores de consumo con un grado de consistencia como para basarse sobre dichas cifras pa ra la confección de las curvas de necesidades de agua.

Para cada procedimiento se describirá un forma ordenada ca da uno de los pasos y el uso de las planillas y cuadros adjuntos. El ca técnico o Administrador de cada método, puede remitirse a la pu bl icación: DGA-IICA "Procedimiento Recomendados para el cálcu lo culo del uso consuntivo y necesidades de riego en los cultivos Ins tr uctivo Preliminar N° 1, Lima 1975".

La fórmula base tiene la siguiente expresión:

$$U.C = K.F = \sum_{1}^{n} (K.f)$$

donde:

f = Factor de "uso consuntivo mensual"

K = Coeficiente de cultivo

F = Factor de uso consuntivo anual o suma de factores men suales de u.c.

Como en su origen se trabajó con temperatura en grados Faren heit ($^{\circ}F$), para calcular en forma directa mediante los valores de tem peratura en grados centígrados, se ha propuesto la ecuación de la si-

guiente forma :

$$U.C. = K \sum (p (0.12 + 0.45t^{\circ}))$$

No obstante y dentro de la misma base del cálculo, es decir empleando directamente temperaturas en grados centígrados (t°), se ha preferido seguir el procedimiento general adoptado por Secretaría de Recursos Hidráulicos de México, porque permite simplificar dicho cálculo mediante el empleo de tablas confeccionadas al efecto.

Para proceder en forma secuencial al cálculo del uso consuntivo por este método, se recomienda seguir los pasos siguientes:

PRIMERO Se obtiene la temperatura media mensual en grados centígrados del área, distrito, sector o estación para lo cual se desea calcular el uso consuntivo, dichos valores se colocan en la columna N° 2 del Cuadro N° 17.

SEGUNDO Como el método descrito fue diseñado originalmente para los Estados Unidos, la temperatura fue dada en grados Fahrenheit, aparte de no haberse efectuado ningún ajuste para regiones áridas .

Ha sido necesario confeccionar entonces una tabla "ad-hoc" para entrar con grados centígrados y asimismo efectuar un ajuste para zonas áridas, lo que se considera seguidamente en el proceso secuencial efectuándose la resolución por tabla de doble entrada .

La fórmula $T_a = (t^{\circ} + 17.3) / 21.8$ permite la conversión directa de la temperatura en grados fahrenheit a grados centígrados.

El factor K_t constituye el elemento adicional incluido por los técnicos de la S.R.M. (México) para condiciones áridas.

Los valores correspondientes se encuentran así resueltos en la Tabla N° 1 para diferentes valores de temperatura mensuales promedio.

El resultado hallado se coloca en la columna N° 3 correspondiente a cada mes, del Cuadro N° 17 antes citado.

TERCERO Se obtiene el valor "p" (insolación o resplandor solar) de la Tabla N° 2 para zonas de latitud Sur. Se entra en dicho cuadro con la latitud de la zona considerada y se obtienen los valores correspondientes de "p" mensuales.

En caso necesario se procede a interpolar el valor considerado entre cada grado de latitud. Este valor se consigna en la columna cuatro del Cuadro N° 17.

CUARTO Se calcula el factor de uso consuntivo potencial mensual "F_{uc}" multiplicando los valores "p" de la columna 4 por los valores "Ta" de la columna N° 3.

Luego :
$$F_{uc} = Ta \times p.$$

Los resultados obtenidos, se colocan en la columna 5 del mismo cuadro, base, el N° 17.

QUINTO Se localiza los valores del coeficiente de ajuste "K" del cultivo en la Tabla N° 3, los datos se colocan en la columna seis del Cuadro N° 17 dentro del mes correspondiente al ciclo considerado.

Este coeficiente se refiere a las necesidades de uso consuntivo, según la si

tuación, el período de desarrollo, condiciones de cultivo, etc. Los primeros estudios para este coeficiente, se desarrollaron originalmente en California (U.S.A.) y su análisis se considera en la publicación DGA-IICA antes citada .

El ajuste de los coeficientes "K" de cultivo para ser aplicados en el procedimiento Blaney-Criddle se llevó a cabo en algunas áreas, de la siguiente manera.

Así por ejemplo, se tomó como punto de partida los coeficientes "K" de cultivo mensuales existentes en la bibliografía consultada, los cuales tienen su origen en las experiencias mencionadas, con posterior revisión y ajuste a semejanza de lo cumplido por la Secretaría de Recurso Hidráulico de México y la Universidad Nacional de Cuyo y Universidad Nacional del Sur, en la Argentina.

Se parte de la premisa de que "K" es el producto entre otros factores de $K_t \cdot K_c$: se contó con la tabla de valores de K_t en función de la temperatura media del lugar y las curvas de K_c , para los diferentes cultivos.

De igual manera se procedió a la corrección de $(K_t \cdot K_c)$, para cada mes y para cada cultivo, la temperatura media se obtiene de registros de 20 a 30 años de las zonas consideradas.

SEXTO Continuando en el procedimiento, se calcula el uso consuntivo mensual del cultivo, expresado en mm de lámina para lo cual se aplica la fórmula $U_c = F_{ur} \cdot K \cdot 10$, resultado que se colocará en la co-lumna N° 7 (Cuadro N° 17).

Los meses que se considera el valor K de uso consuntivo, corresponde a los meses de desarrollo del cultivo y en los cuales presumiblemente se requiere riego.

CALCULO DE USO CONSUNTIVO Y LAMINA NETA O REQUERIMIENTO DE RIEGO

CULTIVO _____ DISTRITO _____ SECTOR _____
 SUB-DISTRITO _____ SUB-SECTOR _____

MESES	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	$t_a = K_f \frac{t_o + 17.8}{21.8}$	INSOLACION O RESPL. SOLAR P.	F. = $t_a \times P.$ (U.C. Potencial) cm.	COEFICIENTE DE CULTIVO K	U.C. CULTIVO FUG. x K x I O m.m.	PRECIPITACION EFECTIVA (O.z.z.P) m.m.	LAMINA NETA O DE REPOSICION (U.C. - P _o) m.m.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ENERO (1)								
FEBRERO (2)								
MARZO (3)								
ABRIL (4)								
MAYO (5)								
JUNIO (6)								
JULIO (7)								
AGOSTO (8)								
SETIEMBRE (9)								
OCTUBRE (10)								
NOVIEMBRE (11)								
DICIEMBRE (12)								
AÑO (T)								

Tabla N°1. Valores para la fórmula: $K_L \left(\frac{t+17.8}{21.8} \right)$ Entrando al cuadro con la temperatura media en °C

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
7.....	0,520	0,526	0,531	0,537	0,543	0,549	0,554	0,560	0,566	0,572
8.....	0,538	0,544	0,549	0,556	0,562	0,568	0,574	0,580	0,586	0,593
9.....	0,638	0,645	0,651	0,657	0,664	0,670	0,676	0,682	0,689	0,696
10.....	0,702	0,708	0,715	0,722	0,729	0,735	0,742	0,748	0,755	0,762
11.....	0,768	0,775	0,782	0,789	0,796	0,803	0,810	0,817	0,824	0,830
12.....	0,838	0,845	0,852	0,859	0,866	0,874	0,880	0,889	0,895	0,902
13.....	0,910	0,917	0,925	0,932	0,939	0,947	0,954	0,962	0,970	0,977
14.....	0,985	0,992	1,000	1,008	1,016	1,024	1,031	1,039	1,047	1,055
15.....	1,063	1,071	1,079	1,086	1,095	1,103	1,111	1,119	1,127	1,135
16.....	1,143	1,152	1,160	1,168	1,175	1,185	1,193	1,202	1,210	1,210
17.....	1,227	1,235	1,244	1,253	1,262	1,270	1,279	1,287	1,296	1,305
18.....	1,313	1,322	1,331	1,340	1,349	1,357	1,367	1,375	1,385	1,393
19.....	1,403	1,412	1,421	1,430	1,439	1,448	1,458	1,467	1,476	1,485
20.....	1,495	1,505	1,513	1,523	1,533	1,542	1,551	1,561	1,571	1,580
21.....	1,590	1,600	1,609	1,619	1,629	1,639	1,648	1,658	1,668	1,678
22.....	1,688	1,698	1,708	1,717	1,728	1,738	1,748	1,758	1,768	1,779
23.....	1,789	1,800	1,810	1,820	1,830	1,840	1,856	1,860	1,871	1,882
24.....	1,892	1,903	1,914	1,924	1,935	1,945	1,956	1,968	1,977	1,988
25.....	1,999	2,010	2,020	2,031	2,042	2,053	2,064	2,075	2,086	2,096
26.....	2,106	2,119	2,130	2,141	2,153	2,164	2,175	2,186	2,198	2,208
27.....	2,220	2,232	2,243	2,255	2,265	2,277	2,289	2,300	2,312	2,323
28.....	2,335	2,345	2,358	2,370	2,382	2,394	2,405	2,417	2,430	2,441
29.....	2,453	2,464	2,477	2,489	2,500	2,513	2,525	2,537	2,549	2,561
30.....	2,574	2,586	2,598	2,610	2,623	2,635	2,647	2,660	2,672	2,685

Tabla N° 2.

Tabla de insolaración o resplandor solar valores P.

Para Grados de latitud Sur

Latitud sur (grados)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0.....	8,49	7,67	8,49	8,22	8,49	8,49	8,49	8,49	8,19	8,49	8,22	8,49
2.....	8,55	7,71	8,49	8,19	8,44	8,17	8,43	8,44	8,19	8,52	8,24	8,55
4.....	8,64	7,76	8,50	8,17	8,39	8,08	8,20	8,41	8,19	8,56	8,33	8,65
6.....	8,71	7,81	8,50	8,12	8,30	8,00	8,19	8,37	8,18	8,59	8,38	8,74
8.....	8,79	7,84	8,51	8,11	8,24	7,91	8,13	8,32	8,18	8,62	8,47	8,84
10.....	8,85	7,86	8,52	8,09	8,18	7,84	8,11	8,28	8,18	8,65	8,52	8,96
12.....	8,91	7,91	8,53	8,06	8,15	7,79	8,08	8,26	8,17	8,67	8,58	8,95
14.....	8,97	7,97	8,54	8,03	8,07	7,70	7,08	8,19	8,16	8,69	8,63	9,01
16.....	9,09	8,02	8,56	7,98	7,96	7,57	7,94	8,14	8,14	8,76	8,72	9,17
18.....	9,18	8,06	8,57	7,93	7,99	7,05	7,88	8,90	8,14	8,80	8,80	9,24
20.....	9,25	8,09	8,58	7,92	7,83	7,41	7,73	8,05	8,13	8,83	8,85	9,32
22.....	9,36	8,12	8,58	7,89	7,74	7,30	7,75	8,03	0,13	8,6	8,90	9,38
24.....	9,44	8,17	8,59	7,87	7,60	7,24	7,58	7,99	8,12	8,89	8,96	9,47
26.....	9,52	8,28	8,00	7,81	7,56	7,07	7,49	7,87	8,11	8,94	9,10	9,61
28.....	9,61	8,31	8,61	7,79	7,49	6,99	8,40	7,85	8,10	8,97	9,19	9,73
30.....	9,69	8,33	8,63	7,75	7,43	6,94	7,30	7,80	8,09	9,00	9,24	9,80
32.....	9,76	8,36	8,63	7,70	7,39	6,85	7,20	7,73	8,08	9,04	9,31	9,87
34.....	9,88	8,41	8,65	7,68	7,30	6,73	7,10	7,69	8,06	9,07	9,38	9,99
36.....	10,06	8,53	8,67	7,61	7,10	6,59	6,99	7,59	8,06	9,15	9,51	10,21
38.....	10,14	8,61	8,68	7,59	7,03	6,46	6,87	7,51	8,05	9,19	9,60	10,34
40.....	10,24	8,65	8,70	7,54	6,93	6,33	6,73	7,46	8,04	9,23	9,69	10,42
42.....	10,39	8,72	8,71	7,49	6,85	6,20	6,60	7,39	8,01	9,27	9,79	10,57
44.....	10,52	8,81	8,72	7,44	6,73	6,04	6,45	7,30	8,00	9,34	9,91	10,72
46.....	10,68	8,88	8,73	7,39	6,61	5,87	6,30	7,21	7,98	9,41	10,03	10,90
48.....	10,85	8,98	8,76	7,32	6,45	5,69	6,13	7,12	7,96	9,47	10,17	11,09
50.....	11,03	8,06	8,77	7,25	6,31	5,48	5,98	7,03	7,95	9,53	10,32	11,30

IDA.-Febrero de 1970

Tabla N°3. COEFICIENTES K DE USO CONSUNTIVO MENSUAL PARA SU APLICACION EN LA FORMULA DE BLANEY Y CRIDDLE -
REGION CENTRO-SUR - PERU -

Planilla General

C U L T I V O S	- M E S E S -												AÑO
	Jul.	Agos.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ener.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun.	
Frutales hojas caducas	-	0.45	0.64	0.76	0.84	0.90	0.81	0.72	0.60	-	0.66	-	-
Frutales hojas perennes	-	0.45	0.46	0.50	0.56	0.67	0.80	0.74	0.70	0.65	0.60	-	-
Vid	-	0.48	0.56	0.74	0.88	0.90	0.85	0.72	-	-	0.70	-	-
Plátano	-	0.44	0.48	0.80	0.85	0.86	0.76	0.62	0.60	0.56	-	-	-
Alfalfa	-	0.66	0.85	0.96	1.04	1.08	1.06	1.00	0.88	0.76	0.60	-	-
Pasturas regadas	-	0.65	0.72	0.76	0.81	0.85	0.83	0.80	0.78	0.75	0.70	-	-
Caña de Azúcar	-	-	-	0.70	0.86	1.02	1.10	1.04	0.90	0.82	0.74	-	-
Algodón	-	0.40	0.56	0.70	0.96	0.98	0.88	0.76	-	-	-	-	-
Algodón (soca 2)	0.36	0.48	0.64	0.80	0.88	1.00	0.92	0.75	-	-	-	-	-
Arroz 22	-	-	-	0.85	1.00	1.12	1.15	1.10	-	-	-	-	-
Mafz (grano)	<u>0.74</u>	-	<u>0.49</u>	<u>0.66</u>	<u>0.88</u>	<u>0.76</u>	<u>0.75</u>	-	<u>0.52</u>	<u>0.70</u>	<u>0.85</u>	<u>0.76</u>	-
Mafz (Chala-Choclo)	<u>0.77</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.47</u>	<u>0.66</u>	<u>0.85</u>	-
Sorgo (grano)	-	0.45	0.80	0.87	0.78	(0.70)	-	-	-	-	-	-	-
Sorgo(Forrajero)	<u>0.74</u>	-	<u>0.46</u>	<u>0.76</u>	<u>0.88</u>	<u>0.80</u>	<u>0.75</u>	-	<u>0.45</u>	<u>0.75</u>	<u>0.86</u>	<u>0.80</u>	-

2 Variedad de período largo, región centro.

22 Corresponde a fecha y características siembra región centro-norte.

Tabla N° 3. Coeficientes K de uso consuntivo mensual para su aplicación en la fórmula de Blaney y Criddle. Región Centro-Sur, Perú

C U L T I V O S	- M E S E S -												AÑO
	Jul.	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun	
Papa	0.78	(0.60	0.85	0.92	0.94	0.86)	-	-	0.58	0.80	0.91	0.88	
Camote	0.70	(0.48	0.75	0.88	0.86	0.73)	-	-	0.50	0.76	0.87	0.78	
Yuca	0.38	0.46	0.58	0.73	0.74	0.66	0.62	0.60	-	-	-	-	
Menestras y Legumbres	0.69	-	0.56	0.70	0.79	0.73	-	-	0.49	0.68	0.72	0.77	
Hortalizas mayores varias	-	0.45	0.67	0.75	0.85	0.84	(0.68	0.75	0.86	0.78	0.75)	-	
Hortalizas menores	-	0.50	0.62	0.78	0.85	-	-	0.68	0.80	0.84	0.81		
Cucurbitáceas	-	0.46	0.65	0.78	0.83	0.75	-	-	0.46	0.64	0.76	0.80	
Trigo y otros cereales	-	0.48	0.69	0.80	0.85	0.79	-	-	-	-	-	-	
Tabaco	-	-	0.44	0.67	0.80	0.94	0.99	0.96	-	-	-	-	

NOTA: Estos coeficientes se ubican sobre la base de la situación del período de riego considerado. No obstante, el cultivo puede admitir un ciclo ligeramente menor, mayor o desplazarse en un mes, según las condiciones climáticas, ecológicas y, de latitud.

(Continuación)

Tabla N° 3.

-COEFICIENTES K DE USO CONSUNTIVO MENSUAL PARA SU APLICACION EN LA FORMULA DE BLANEY Y CRIDDLE

REGION CENTRO-SUR -PERU-

COMPLEMENTARIA

C U L T I V O S	= M E S E S =												AÑO
	Ener	Feb.	Marz	Abril	May	Junio	Julio	Agst	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
MAIZ (Grano) siembra en:													
(1) ENERO	0.53	0.72	0.88	0.76 (0.75)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(2) MARZO	-	-	0.52	0.70	0.85	0.74 (0.73)	-	-	-	-	-	-	-
(3) JUNIO	-	-	-	-	-	0.52	0.69	0.82	0.74(0.73)	-	-	-	-
(4) AGOSTO	-	-	-	-	-	-	-	0.48	0.65	0.86	0.75 (0.74)	-	-
MAIZ (Chala-Choclo)													
(1) ABRIL	-	-	-	0.47	0.66	0.85	0.77 (0.77)	-	-	-	-	-	-
(2) AGOSTO	-	-	-	-	-	-	-	0.48	0.66	0.88	0.76 (0.76)	-	-
(3) DICIEMBRE	0.71	0.88	0.78 (0.76)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	-
HORTALIZAS MAYORES													
(1) ENERO	0.68	0.75	0.86	0.78 (0.75)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(2) MAYO	-	-	-	-	0.54	0.66	0.74	0.82 (0.80)	-	-	-	-	-
(3) AGOSTO	-	-	-	-	-	-	-	0.45	0.67	0.75	0.85 (0.84)	-	-
(4) NOVIEMBRE	0.81	0.82 (0.79)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.60	0.72	-
HORTALIZAS MENORES													
(1) ENERO	0.66	0.82	0.83 (0.80)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(2) MARZO	-	-	0.65	0.80	0.79 (0.78)	-	-	-	-	-	-	-	-
(3) MAYO	-	-	-	-	0.56	0.67	0.78 (0.78)	-	-	-	-	-	-
(4) OCTUBRE	(0.80)	-	-	-	-	-	-	-	0.58	0.71	0.82	-	-

De ello se desprende como efecto de posición que la aplicación de la lámina variará de acuerdo al ciclo o, al desarrollo del cultivo desde el mes que se ubica el comienzo del período de riego y su posterior desenvolvimiento. A este nivel se ha logrado de tal forma el uso consuntivo del cultivo por mes, y, en su sumatoria, anual. Se sigue a fin de establecer la lámina neta.

SEPTIMO Se calcula la precipitación afectiva "Pe" aplicando un coeficiente de corrección a los valores mensuales de precipitación (P) obtenido a promedios mensuales de datos o series históricas meteorológicas.

Este coeficiente de ajuste es igual a $(1-Kr)$, donde Kr representa en gran medida la escorrentía y, se asume con un valor de 0.20, pudiendo ser variable para mejor interpretación del ajuste. Finalmente, la precipitación efectiva resulta entonces:

$$Pe = P \times (1-Kr) \text{ o sino: } Pe = 0.80.P$$

Es conveniente corregir la precipitación a partir del valor de 20 mm. mensuales como tope mínimo.

Las cifras iguales o menores a estos se anotan sin corrección salvo que se trabaje con modelos operacionales que el ajuste es mayor. (Ver bibliografía).

Los resultados se colocarán en la columna N° 8 del cuadro base.

3.2.2. Segundo procedimiento: Christiansen (UTAH) y colaboradores

Desde el año 1960, el profesor Jerald E. Christiansen de Utah State University, USA, viene trabajando en la fórmula para calcular los valores de evaporación y evapotranspiración potencial, mediante el uso de factores

climáticos del lugar y el empleo de tablas que han sido desarrolladas para simplificar los cálculos.

Básicamente la ecuación original tiene la forma :

$$E = C \cdot K \cdot R.$$

Donde :

E = Son los valores de evaporación y/o evapotranspiración según el caso.

K = Constante adimensional, de corrección, obtenido de un análisis previo de los datos

R = Radiación solar teórica, considerada en el techo de la atmósfera.

C = Coeficiente empírico adimensional, producto a su vez de otros subcoeficientes, los cuales cada uno expresa el efecto de un factor climático dado y puede tener las siguientes expresiones :

$$C = C_T \cdot C_H \cdot C_W \cdot C_S \cdot C_E \cdot C_M.$$

Donde : T, H, W, S, E, son los valores mensuales de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, hora de sol, altura y M es un coeficiente de corrección para cada mes.

Los coeficientes para cada factor climático fueron desarrollados del análisis de muchos datos y en la teoría cada coeficiente representa el efecto de cada factor considerando los otros como constantes.

3.2.2.1. Desarrollo y Aplicación :

En la fórmula de Christiansen (Utah), para calcular la evapotranspiración se emplea datos de radiación extraterrestre y facto

res climáticos como temperatura-velocidad de viento, humedad relativa, porcentaje de las horas de luz solar y altura sobre el nivel del mar de la estación meteorológica considerada.

La ecuación como describió anteriormente, tiene la forma siguiente :

$$E_t = K \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_E$$

Cuyas resoluciones parciales para el cálculo de los coeficientes son los siguientes :

$$K = 0.324 \text{ (sujeto a análisis)}$$

$$C_T = 0.463 + 0.425 (T_c/T_{c0}) + 0.112 (T_c/T_{c0})^2$$

Siendo T_c la temperatura promedio en C° y T_{c0} valor fijo

$$C_W = 0.672 + 0.406 (W/W_0) - 0.078 (W/W_0)^2$$

Siendo W el promedio de la velocidad del viento a 2 metros sobre el nivel del suelo y W_0 igual a 100 millas por día ó 6.7 Km /hora.

$$C_H = 1.035 + 0.24 (H_m/H_{m0})^2 - 0.275 (H_m/H_{m0})^3$$

Siendo H_m la humedad relativa promedio expresado en decimal y H_{m0} igual a 0.60

$$C_S = 0.340 + 0.856 (S/S_0) - 0.196 (S/S_0)^2$$

Siendo S el porcentaje promedio de luz solar en decimal y S_0 igual que 0.80

$$C_E = 0.970 + 0.030 (E/E_0)$$

Siendo E la altura sobre el nivel del mar (en metros de la estación meteorológica considerada) y E_0 igual a 305 m.

El desarrollo de estos coeficientes ha permitido confeccionar tablas de simple y doble entrada y que se adjuntan para simplicidad de los cálculos.

Para determinar los valores mensuales de evapotranspiración potencial mediante el uso de las Tablas 4 al 10 se procede del siguiente modo :
PRIMERO obtenida la latitud de la estación meteorológica, en grados y minutos, se busca los correspondientes valores medios mensuales de radiación extraterrestre en el Tabla 4 que ha sido confeccionada para valores de latitud que van de 0° hasta 20° de latitud Sur, valores entre los que se encuentra en este caso el Perú. Los valores así obtenidos se colocan en la columna uno del Cuadro N° 18 . Para valores de latitud intermedios, bastará hacer una interpolación entre los valores extremos
 Así por ejemplo:

Latitud 15°4 para Enero, se tiene:

$$\text{Para latitud de } 15^\circ = 16,98$$

$$\text{Para latitud de } 16^\circ = 17,06$$

$$\text{Para } 1^\circ \text{ de diferencia } + 0,80$$

Para un exceso de 0.4 se tiene :

$$\text{Para } 1^\circ \text{ de diferencia se tiene } 0,80$$

$$\text{Para } 0,4 \quad \text{será} \quad x$$

$$\text{de donde } x = 0,80 \times 0,40 = 0,032$$

El valor de la radiación extraterrestre para los 15°4 será

$$16,98 + 0,032 = 17,01 \text{ mm/día}$$

SEGUNDO Con el valor de la temperatura promedio diaria, buscamos el valor de C_T en la Tabla N° 5 el que se registra en la columna dos del Cuadro N° 18 , para valores intermedios bastará realizar una interpolación.

TERCERO Para el calculo del coeficiente C_W , es necesario hacer ciertas correcciones tales como :

Cuando la velocidad de viento se registra en nudos, es necesario convertirla a Km/hora (para ello se multiplica el valor en nudos por el

factor 1.6)

En algunas estaciones meteorológicas la medida de velocidad de viento se realiza a alturas diferentes a 2m sobre el suelo, por lo que se tiene que corregir estos valores y transformarlos a la altura de 2 m.

Para realizar las correcciones se utiliza la fórmula siguiente, cuya resolución se aclara en la bibliografía citada en este documento.

$$V = V_a \times \left(\frac{Z}{Z_a} \right)^{1/7}$$

donde:

V = Velocidad del viento corregido

V_a = Velocidad del viento medida a la altura del anemómetro

Z = Altura del anemómetro sobre el nivel del suelo

Z_a = Altura asumida del tanque de evaporación tipo A.

Obtenidos estos valores promedio de velocidad de viento, corregidas a 2 metros de altura, se determina el correspondiente valor mensual del coeficiente C_W mediante la Tabla N° 6 valor que se registra en la columna 3 del Cuadro N° 18

CUARTO Con los valores promedio de humedad relativa se obtiene el valor del coeficiente C_H, con ayuda de la Tabla 7, este valor se registra en la columna 4 del referido cuadro.

QUINTO Las horas de sol se registran generalmente en horas de sol totales del mes, por lo que hay que convertirlas en porcentaje de horas de sol diarias mediante la siguiente fórmula:

$$S\% = \frac{\text{horas de sol acumuladas en el mes}}{12 \times N^{\circ} \text{ de días del mes}} \times 100$$

El número 12 de la fórmula correspondiente el valor teórico máximo de horas de sol.

Con los valores de horas de sol así obtenidas y con la ayuda de la Tabla N° 8, se calcula los valores de C_S las que se registran en la columna 5 del Cuadro N° 18.

SEXTO Para establecer el coeficiente de elevación es necesario conocer o haber determinado previamente la altura sobre el nivel del mar de la estación meteorológica o de la zona en estudio. Con este valor y con la Tabla 9 se determina el valor del coeficiente C_E debiéndose interpolar para valores intermedios.

Reemplazado los valores de $P, C_T, C_W, C_H, C_S, C_E$ en la fórmula

$$ET = 0.324 \cdot R \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_E$$

Se obtendrá la evapotranspiración potencial, cuyos valores se registran en la columna final N° 7 del Cuadro N° 18.

3.2.2.2. Cálculo de uso Consuntivo de los Cultivos :

Obtenido los valores de la evapotranspiración potencial mensual (ET) mediante el desarrollo del procedimiento antes explicado se calcula el uso consuntivo de los cultivos que nos interesan, haciendo la

debida corrección de los valores de (ET) mediante la aplicación de los factores o coeficientes de desarrollo de los cultivos en función del porcentaje de crecimiento o desarrollo estacional que han sido calculados por Christiansen, y que se presentan en la Tabla N° 10. Los valores respectivos se ubican en razón del ciclo de desarrollo asumido, según Cuadro anterior. Así por ejemplo el cultivo del tomate considerado con cinco meses de desarrollo tendría cinco coeficientes (K_C) que podrían estar ubicados respectivamente en 20% ó (0.40); en 40% ó (0.70); en 60% ó (0.70); en 80% ó (0.55) y en 100% ó (0.20).

Otro criterio, para los mismos intervalos comienza tomando los siguientes porcentajes: 0%, 20%, 40%, 60% y 80% respectivamente. Quizas para el caso particular del tomate, este último criterio podría ser el más conveniente que el considerado anteriormente, pero en todos los casos estos coeficientes están expresando el grado de crecimiento y decrecimiento progresivo del ciclo vegetativo, a semejanza de una curva gaussiana. Teóricamente las explotaciones anuales presentan una curva de crecimiento, pero éstas no son semejantes sino que están en función al período de cosecha (mayor o menor duración), en función de la presencia de heladas o fríos intensos en la zona y en ese caso a partir de los valores medios máximos, cuyo contenido hídrico debe seguir reponiéndose hasta que el proceso cese hasta el corte total, como por ejemplo con el caso del maíz chala y el sorgo.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

Valores Medios Mensuales de Radiación Extraterrestre

LATITUD SUR GRADOS	EVAPORACION (MILIMETROS)											
	ENE	FEB	MAR	SU	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV
0	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.19	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
1	15.22	15.62	15.72	15.19	14.33	13.80	14.03	14.84	15.58	15.72	15.36	15.06
2	15.37	15.71	15.73	15.11	14.19	13.63	13.87	14.73	15.55	15.78	15.49	15.23
3	15.42	15.80	15.74	15.03	14.05	13.46	13.71	14.62	15.52	15.84	15.62	15.39
4	15.57	15.81	15.75	14.95	13.91	13.29	13.55	14.51	15.49	15.90	15.75	15.56
5	15.81	15.98	15.75	14.88	13.76	13.12	13.39	14.41	15.46	15.96	15.89	15.72
6	15.94	16.05	15.93	14.78	13.60	12.53	13.21	14.28	15.41	16.00	16.00	15.86
7	16.07	16.12	16.12	14.68	13.44	12.74	13.04	14.15	15.36	16.04	16.11	16.01
8	16.19	16.19	16.30	14.57	13.27	12.56	12.86	14.02	15.30	16.07	16.23	16.15
9	16.32	16.26	16.49	15.47	13.11	12.37	12.69	13.89	15.25	16.11	16.34	16.30
10	16.45	16.33	15.67	14.37	12.95	12.18	12.51	13.76	15.20	16.15	16.45	16.44
11	16.56	16.37	15.63	14.25	12.77	11.98	12.32	13.61	15.12	16.16	16.54	16.56
12	16.66	16.42	15.59	14.13	12.59	11.78	12.12	13.41	15.05	16.17	16.63	16.69
13	16.77	16.46	15.56	14.00	12.42	11.57	11.93	13.31	14.97	16.19	16.71	16.81
14	16.87	16.51	15.52	13.88	12.24	11.37	11.73	13.16	14.90	16.20	16.80	16.94
15	16.98	16.55	15.48	13.76	12.06	11.17	11.54	13.01	14.82	16.21	16.89	17.06
16	17.06	16.57	15.41	13.62	11.87	10.96	11.33	12.74	14.72	16.20	16.96	17.16
17	17.15	16.59	15.34	13.48	11.67	10.74	11.13	12.67	14.62	16.19	17.02	17.26
18	17.23	16.62	15.29	13.33	11.48	10.53	10.92	12.51	14.53	16.18	17.09	17.37
19	17.32	16.64	15.22	13.19	11.28	10.31	10.72	12.34	14.43	16.17	17.15	17.47
20	17.40	16.66	15.16	13.05	11.09	10.10	10.51	12.17	14.33	16.16	17.22	17.57

TABLA No 5

COEFICIENTE DE TEMPERATURA PARA USO DE:

Et = R. Ct. Ch. Cw. Cs. Ce.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

TEMPERATURA MEDIA		TEMPERATURA ^o MEDIA	
T	Ct	T	Ct.
4	0.552	25	1.169
5	0.576	26	1.205
6	0.601	27	1.241
7	0.625	28	1.278
8	0.651	29	1.315
9	0.677	30	1.352
10	0.703	31	1.391
11	0.731	32	1.430
12	0.758	33	1.469
13	0.787	34	1.509
14	0.815	35	1.550
15	0.845	36	1.591
16	0.875	37	1.633
17	0.905	38	1.675
18	0.936	39	1.718
19	0.968	40	1.761
20	1.000	41	1.805
21	1.033	42	1.849
22	1.066	43	1.894
23	1.100	44	1.940
24	1.34		

$$Ct = 0.463 + 0.425 (Tc/Tco) + 0.112 (Tc/Tco)^2$$

TABLA No 6

COEFICIENTE DE VELOCIDAD DE VIENTO PARA EL USO EN:

Et. K.R. Ct.Cw. Cu. Ce.Ce.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

VELOCIDAD DE VIENTO A 2 mts. sobre suelo		VELOCIDAD DEL VIENTO A 2 mts. sobre suelo	
Velocidad Km/h.	CW	Velocidad Km/h.	CW
0.00	0.672	11.50	1.139
0.50	0.702	12.00	1.149
1.00	0.731	12.50	1.158
1.50	0.759	13.00	1.166
2.00	0.786	13.50	1.173
2.50	0.813	14.00	1.179
3.00	0.838	15.50	1.185
3.50	0.863	16.00	1.190
4.00	0.887	17.00	1.199
4.50	0.909	18.00	1.199
5.00	0.932	19.00	1.195
5.50	0.953	20.00	1.188
6.00	0.973	21.00	1.177
6.50	0.992	22.00	1.163
7.00	1.011	22.00	1.145
7.50	1.029	24.00	1.124
8.00	1.045	25.00	1.100
8.50	1.061	26.00	1.071
9.00	1.076	27.00	1.040
9.50	1.091	28.00	1.004
10.00	1.104	29.00	0.966
10.50	1.116	30.00	0.924
11.00	1.128		

$$Cw = 0.672 + 0.406 + (w/w_0) - 0.0750 (w/w_0)^2$$

TABLA N^o 7

COEFICIENTE DE HUMEDAD RELATIVA PARA SU USO EN:

$$Et = K. R. Ct. Ch. Cw. Cb. Ce.$$

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

HUMEDAD RELATIVA MEDIA		HUMEDAD RELATIVA MEDIA	
Hm %	Ch	Hm %	Ch
20	1.051	62	0.988
22	1.054	64	0.974
24	1.056	66	0.959
26	1.058	68	0.943
28	1.059	70	0.925
30	1.061	72	0.905
32	1.062	74	0.884
34	1.062	76	0.861
36	1.062	78	0.836
38	1.061	80	0.810
40	1.060	82	0.781
42	1.058	84	0.751
44	0.056	86	0.718
46	1.052	88	0.684
48	1.048	90	0.647
50	1.043	92	0.608
52	1.036	94	0.567
54	1.029	96	0.523
56	1.020	98	0.477
58	1.011	100'	0.429
60	1.000		

$$Ch = 1.035 + 0.240 (Hm/Hmo)^2 - 0.275 (Hm/Hmo)^3$$

TABLA N° 8

COEFICIENTES DE HORAS DE SOL DIARIA PARA SU USO EN:

CT = K. R. Ct. Ch. Cv. Cs. Ce.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

HORAS DE SOL		HORAS DE SOL	
S %	C s	S %	C s
20	0.542	62	0.886
22	0.561	64	0.899
24	0.579	66	0.913
26	0.597	68	0.926
28	0.616	70	0.939
30	0.633	72	0.952
32	0.651	74	0.964
34	0.668	76	0.976
36	0.686	78	0.988
38	0.702	80	1.000
40	0.719	82	1.011
42	0.735	84	1.023
44	0.752	86	1.034
46	0.767	88	1.044
48	0.783	90	1.055
50	0.798	92	1.065
52	0.814	94	1.075
54	0.828	96	1.085
56	0.848	98	1.094
58	0.858	100	1.104
60	0.872		

$$C_s = 0.340 + 0.856 (s/S_0) - 0.196 (s/S_0)^2$$

TABLA N^o 9

ELEVACION E. (m) Y COEFICIENTE DE ELEVACION CE.

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

ELEVACION METROS	CE	ELEVACION METROS	CE
0	970	1500	1.118
50	975	1600	1.127
100	980	1700	1.137
150	985	1800	1.147
200	990	1900	1.157
250	995	2000	1.167
300	1.000	2100	1.177
350	1.004	2200	1.186
400	1.009	2300	1.196
450	1.014	2400	1.206
500	1.019	2500	1.216
550	1.024	2600	1.226
600	1.029	2700	1.236
650	1.034	2800	1.245
700	1.039	2900	1.255
750	1.044	3000	1.265
800	1.049	3100	1.275
850	1.054	3200	1.285
900	1.059	3300	1.295
950	1.063	3400	1.304
1000	1.068	3500	1.314
1050	1.073	3600	1.324
1100	1.078	3700	1.334
1150	1.083	3800	1.344
1200	1.088	3900	1.354
1300	1.098	4000	1.363
1400	1.108	4100	1.373

$C_e = 0.970 + 0.030 (E/E_0)$

TABLA No 10

COEFICIENTES DE USO CONSUNTIVO DE LOS CULTIVOS EN PORCENTAJE DE CRECIMIENTO ESTACIONAL

RELACION E_t/E_v^* .

PROCEDIMIENTO CHRISTIANSEN (UTAH)

CULTIVOS	PORCENTAJE ESTACIONAL DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PERIJOL	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20
MAIZ	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50
ALGODON	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
BERGAMO G.	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15
BERGAMO PRIM.	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
BERGAMO INV.	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.90	0.30
CUCURBITACEAS	0.35	0.35	0.45	0.50	0.60	0.65	0.65	0.60	0.60	0.55	0.55
PECANO	0.35	0.45	0.55	0.75	0.75	0.65	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
MANI	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
PAPA	0.20	0.35	0.40	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
ARROZ	0.80	0.95	1.05	1.15	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
SOYA	0.15	0.20	0.25	0.30	0.45	0.55	0.70	0.80	0.70	0.60	0.50
LEG. PEQ.	0.25	0.30	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.55	0.45	0.30
REMOL. AZUC.	0.25	0.45	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
TOMATE	0.20	0.25	0.40	0.60	0.70	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.20
VEGETALES DE RAIZ PIVOTANTES	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30

Estos valores multiplicados por 1.25 pueden ser usados con la Evapotranspiración Potencial estimadas de la ecuación (1).

CUADRO N° 18 REGISTRO PARA LOS COEFICIENTES DE LA FORMULA DE CHRISTIANSEN *

MESES	R _T	C _T	C _W	C _H	C _S	C _F	E _T
	1	2	3	4	5	6	7
ENE							
FEB							
MAR							
ABR							
MAY							
JUN							
JUL							
AGOST							
SET							
OCT							
NOV							
DIC							

* $E_T = K \cdot R_T \cdot C_T \cdot C_W \cdot C_H \cdot C_S \cdot C_F$

Quizas este tipo de coeficiente se ajusta más a las características del ciclo, en los cultivos anuales, por ejemplo la vid con 180 días y sus seis a siete coeficientes.

La característica de este sistema de coeficiente porcentuales, es que para el primer valor, resulta un valor muy bajo, sobre todo si se comienza a elegir valores para K_c a partir de cero. Entendemos que para asumir estos valores debe primar el criterio y la experiencia del técnico que los aplica.

Prosiguiendo con la metodología descrita para el cálculo del uso consuntivo, se multiplica el valor de la evapotranspiración potencial del mes considerado, por el coeficiente K_c mensual del cultivo de tal forma que:

Uso consuntivo (maíz octubre) = E_t (octubre x K_c (maíz octubre)

Previamente, para este cultivo se ha obtenido el porcentaje correspondiente para el mes de octubre y para el ciclo considerado.

Con los valores obtenidos en el desarrollo del Cuadro N° 18 para todos los cultivos, se determina en igual forma el uso consuntivo, confeccionándose un planilla adicional a semejanza del Cuadro N° 24 el que incluso puede contener diferenciación para el mismo cultivo, en función del mes de siembra (caso del maíz, frijol y algunos cereales).

La suma de los valores de uso consuntivo mensual, es el uso consuntivo para un período vegetativo, que puede ser anual, caso de las explotaciones permanentes.

Los Cuadro N^os. 19, 20, 21, 22, 23, que se adjuntan, son modelos de registro para los diferentes factores que intervienen en el cálculo del uso consuntivo por medio de la fórmula de Christiansen.

3.2.3. Procedimiento basado en la Fórmula de Hargreaves :

Completando la cita de procedimientos recomendados para el cálculo del uso consuntivo o la Evapotranspiración real del cultivo, se incluye en forma sumaria el método basado en la ecuación del Dr. Hargreaves, dentro de un concepto simplificado.

Actualmente, tanto dicho investigador como experimentadores de su equipo, están tratando de establecer una correlación definida entre los valores de Evaporación en tanque (E_o), Evapotranspiración potencial del cultivo en condiciones óptimas (EVP) y Evapotranspiración actual de los cultivos (ETA).

Básicamente :

$$E_o = 0,XX \times EVP \dots$$

Siendo el coeficiente motivo de análisis. El ajuste de este coeficiente es función de observaciones lisimétricas, comparaciones entre valores lisimétricos y de evaporación en tanque, estudios de correlación. etc...

La fórmula desarrollada sobre la base de los valores de la Evapotranspiración actual (ETA) permite calcular el uso consuntivo mensual de los cultivos en función de la temperatura media, humedad relativa media al medio día, duración diurna que es dependiente

de la latitud, los coeficientes para diferentes cultivos y, un factor constante adicional de corrección.

La ecuación ya procesada para el cálculo en unidades métricas y temperatura en grados centígrados, podría resumirse como sigue :

$$ET = 17.37 \times K \times d \times T (1.0 - 0.01 Hn)$$

donde :

Et = Evapotranspiración real en mm/mes

K = Coeficiente empírico del cultivo

d = Coeficiente mensual de duración del día

T = Temperatura media mensual

Hn = Humedad relativa media al medio día

El coeficiente de duración del día (d) podría estar relacionado con el valor (p) de la fórmula de Blaney y Criddle a través de la ecuación :

$$d = 0.12 p$$

No obstante hay tablas con el factor de evapotranspiración (ETP)

Los valores de humedad relativa que generalmente se publican en los registros climáticos (ejemplo SENAMHI): Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) corresponden a valores medios diarios .

Al Barrak (1964) obtuvo una relación entre la humedad relativa media del medio día y la humedad relativa media de 24 horas, la cual

se presenta en la Figura N° 2 .

Los valores del K para diferentes cultivos y según el período de crecimiento que ha sido obtenido por Hargreaves se presentan en la Tabla N° 11.

El desarrollo de la fórmula de Hargreaves ha dado buenos resultados para condiciones meteorológicas medias. Las investigaciones de Patil y Christiansen (1968), Al Barray (1964) y otros (1965, 1966) para comprobar y/o ajustar la fórmula de Hargreaves, indican que éste da buenos resultados para diferentes condiciones de clima, cuando los factores son uniformes y están bien seleccionados sus coeficientes. A continuación se presenta un Cuadro tipo para el cálculo de la Evapotranspiración real por ésta fórmula, cuyo diseño se ve en el Cuadro N° 25.

Se incluye de tal forma en el presente Manual Operativo, los procedimientos sugeridos para el cálculo del Uso Consuntivo, pudiendo arribarse así el valor de "Lámina neta o de reposición", expresada en mm, valor que surge como consecuencia de restarle al Uso Consuntivo real, la precipitación efectiva del área bajo estudio, en caso de que la misma obre como variable. Se enfatiza sobre este particular, porque en las planillas de base de algunos procedimientos, el cuadro de uso corriente entrega el dato como uso consuntivo mensual y, en consecuencia, hay que tener en cuenta restarle posteriormente la precipitación efectiva.

Para el caso particular de los Distritos de la Costa del Perú, esta diferencia no obstante queda prácticamente anulada en gran medida

ALBARRAK (1964)

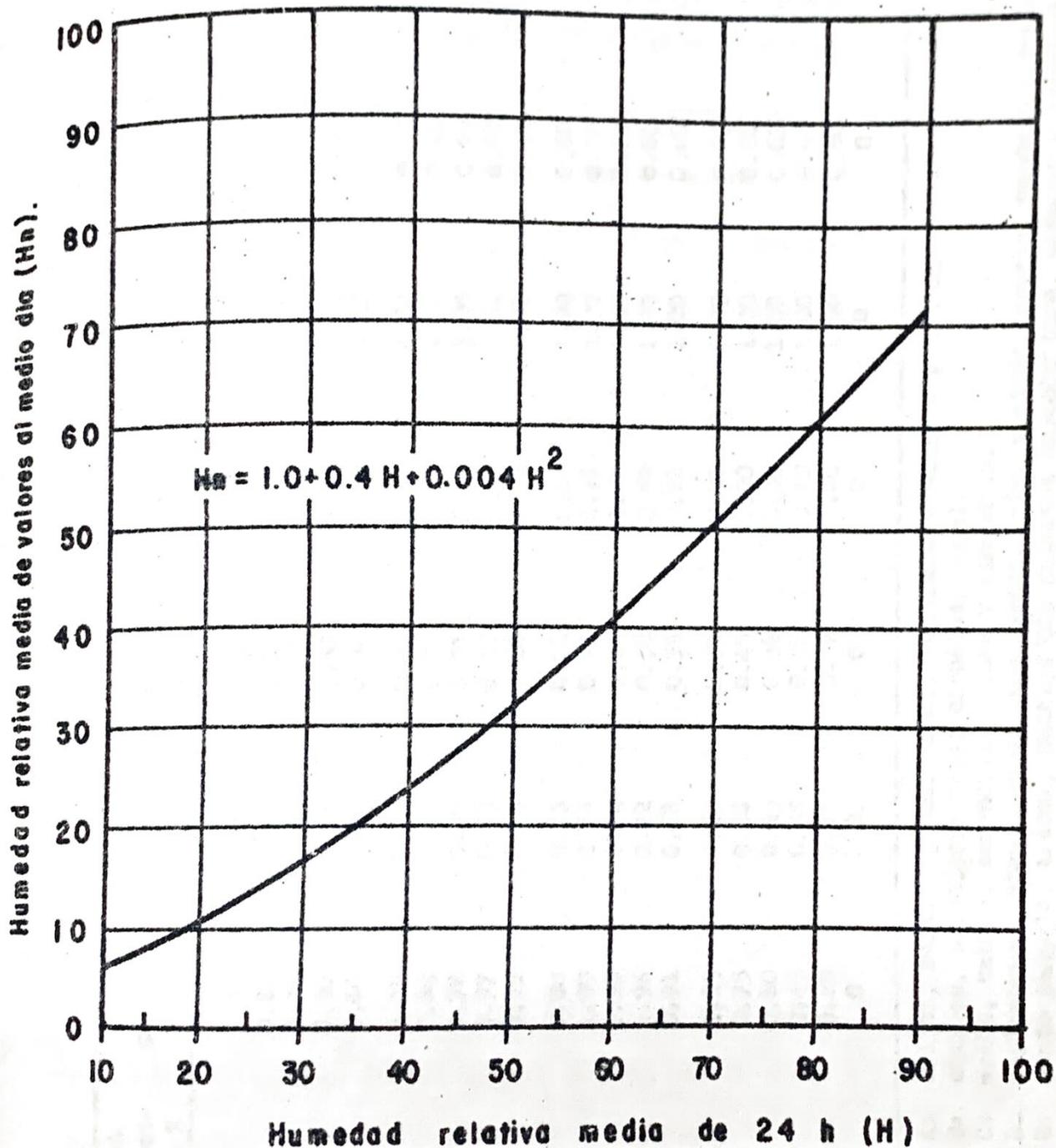


Figura N°2-Relación entre humedad relativa media diaria y la humedad relativa media al medio día.

T A B L A N°11

VALORES DEL COEFICIENTE k - FORMULA DE HARGREAVES (1966)

Estación de crecimiento %	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E	Grupo F	Grupo G	Arróz
0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.20	0.15	0.12	0.08	1.00	0.60	0.55	0.90
10	0.36	0.27	0.22	0.15	1.00	0.60	0.60	0.92
15	0.50	0.38	0.30	0.19	1.00	0.60	0.65	0.95
20	0.64	0.48	0.38	0.27	1.00	0.60	0.70	0.98
25	0.75	0.56	0.45	0.33	1.00	0.60	0.75	1.00
30	0.84	0.63	0.50	0.40	1.00	0.60	0.80	1.03
35	0.92	0.69	0.55	0.46	1.00	0.60	0.85	1.06
40	0.97	0.73	0.58	0.52	1.00	0.60	0.90	1.08
45	0.99	0.74	0.60	0.58	1.00	0.60	0.95	1.10
50	1.00	0.75	0.60	0.65	1.00	0.60	1.00	1.10
55	1.00	0.75	0.60	0.71	1.00	0.60	1.00	1.10
60	0.99	0.74	0.60	0.77	1.00	0.60	1.00	1.10
65	0.96	0.72	0.58	0.82	1.00	0.60	0.95	1.10
70	0.91	0.68	0.55	0.88	1.00	0.60	0.90	1.05
75	0.85	0.64	0.51	0.90	1.00	0.60	0.85	1.00
80	0.75	0.56	0.45	0.90	1.00	0.60	0.80	0.95
85	0.60	0.45	0.36	0.80	1.00	0.60	0.75	0.90
90	0.46	0.35	0.28	0.70	1.00	0.60	0.70	0.85
95	0.28	0.21	0.17	0.60	1.00	0.60	0.55	0.80
100	0	0	0	0	0	0	0	0

Grupo A: frijol, maíz, algodón, papas, remolacha azucarera y tomates

Grupo B: dátiles, olivo, duraznos, ciruelas, nogal.

Grupo C: melón, cebada, zanahorias, vides y almendras.

Grupo D: espárragos, cebada, apio, lino, avena, trigo y otros cereales menores y sorgo granifero.

Grupo E: pasto pangola, trébol, hveftos con cultivos de cobertura, bananas y plátanos.

Grupo F: naranjo, limonero y toronja.

Grupo G: caña de azúcar y alfalfa.

CUADRO Nº 25

CUADRO PARA EL CALCULO DE LA EVATRANSPIRACION O NECESIDAD DE RIEGO APLICANDO LA FORMULA DE HARGREAVES.

CULTIVO: _____

MESES	COEFICIENT. K DE CULTIVO	COEFICIENT. MENSUAL DURACION DIA: d.	TEMPERAT. MEDIA MENSUAL °C	HUMEDAD RELATIVA MEDIA AL MEDIO DIA Hn.	ECUACION (1,0-0,01. Hn.)	E _T DEL CULTIVO mm.
	1	2	3	4	5	6
JULIO						
AGOSTO						
SETIEMBRE						
OCTUBRE						
NOVIEMBRE						
DICIEMBRE						
ENERO						
FEBRERO						
MARZO						
ABRIL						
MAYO						
JUNIO						
AÑO						

$E_t \text{ mm.} = 17.37 K_d \cdot T(1.0 - 0.01 H_n)$

si se recuerda que la precipitación efectiva de esta región, es por lo común inferior a los 40 mm anuales y, difícilmente se presenta un mes donde deba cumplirse un descuento de lámina; pero se reitera que, logrados los valores del U.C. del cultivo por el procedimiento seleccionado conviene "chequear" o verificar si en algún mes, hay descuento de lámina por precipitación efectiva.

Tanto en uno como en otro procedimiento, si no se efectúan deducciones en este sentido, el U.C. mensual del cultivo así como la lámina de reposición son iguales. Debe entenderse este concepto como "lámina neta a nivel de parcela", ya que hasta ahora, dentro del procedimiento no se ha hecho intervenir ninguna de las eficiencias que inciden incrementando esta lámina neta; ello se considerará en el siguiente paso, al caracterizar los consumos volumétricos mensuales.

3.3. Los Índices Volumétricos Unitarios Mensuales o Coeficientes de Riego Su determinación :

Dado que el término "coeficiente de riego" tiende a generalizarse entre los operadores y programadores vinculados a la agricultura de riego, se ha considerado oportuno mantener dicha denominación básica, pero adicionándola los términos "coeficiente volumétricos de riego mensuales" a fin de acercarlos más al valor que representa. No debe olvidarse que dentro de un concepto estricto, desde hace tiempo se ha definido al verdadero coeficiente de riego como la relación "caudal/superficie", siendo su unidad en consecuen-

cia : lt^oseg.Ha.

En este caso y asimilando dicho término pero esfatizando el criterio volumétrico de representación, la unidad que se trata de representar con los coeficientes volumétricos mensuales es: $m^3/Ha \times 10^{-3}$, es decir, el consumo volumétrico mensual dividido mil, de modo tal que un coeficiente de 1,4 por ejemplo, represente $1.400 m^3/Ha$ y, siendo mensuales, lógicamente por ese lapso.

De otro modo, es válido afirmar que el coeficiente es un volumen mensual en la unidad de área, expresando directamente en miles de metros cúbicos. Este concepto se ha considerado en el desarrollo de la planilla de procedimientos.

Para calcular al coeficiente o índice volumétrico cultivo por cultivo puede seguirse la metodología que se expresa en el

Cuadro N° 26

Las columnas indican de por sí los elementos que intervienen para su llenado, pero se aclarará más con una breve síntesis de la metodología :

- En la columna 1, se consigna el mes analizado dentro del correspondiente período de riego, para el cultivo que se anota en la parte superior izquierda.

- En la columna 2, se anota su requerimiento de lámina neta, expresado en mm y obtenido por uno de los métodos seleccionados.

- En la columna 3, este valor se lleva a volumen (m^3 /mes) por unidad de área (Ha), para lo cual se multiplica el valor de la columna 2 por el factor 10.
- En la cuarta columna, se coloca el volumen bruto o consumo de agua por hectárea y por mes, para lo cual se ha incrementado el volumen neto anterior en función de la Eficiencia de aplicación o manejo.

$$\text{VOL. BRUTO } (m^3 / \text{Ha. mes}) = \frac{\text{VOL. NETO} \times 10}{\text{Efic}}$$

A los efectos de la aplicación de esta simple ecuación, el valor de la Eficiencia se expresa en forma unitaria, es decir, que al consultar en una tabla de apoyo y establecer una eficiencia de 65% por ejemplo, el valor corresponde a: $\text{Efic.} = 0,65$ (o sea $\frac{65}{100}$).

El volumen así incrementado y conocido desde este momento como "volumen bruto a nivel de parcela", se anota en la columna 4

El aspecto de la Eficiencia de aplicación y manejo, conocido también como uso consuntivo en función de riego es de gran importancia y se debe analizar los diversos criterios existentes.

No obstante, el operador o programador de riego puede tener dificultades para asumir una cifra a este respecto; con el propósito

de facilitar esta toma de decisión, se agrega adjunto al presente Instructivo el Cuadro N° 27 que se refiere a Eficiencia de esta naturaleza en sistemas de riego por superficie, según el Manual Ames (Keller y Mc Culloch) y, el Cuadro N° 28 que considera esta misma eficiencia en sistemas de riego más avanzadas.

La mayoría de los manuales de riego actuales incluyen planillas o cifras que se refieren a estas pérdidas, las que se producen en razón de la aplicación volumétrica sobre áreas extensas o, en un sentido inverso, la eficiencia o grado de aprovechamiento del agua según sistema de riego adoptado, característica de suelo, cultivo, parcela y otros factores.

Se recomienda que, de ser viable, el operador debe aportar además un criterio propio sobre la base de los cuadros anteriores, máxima si es que median antecedentes, experiencias, conocimientos de la zona, de los cultivos y las modalidades del uso del agua por parte del regante, etc.

- Continuando con las columnas del Cuadro N° 26 se observa que la quinta columna, tiende ya a expresar el volumen anterior en forma de "coeficiente" o índice, para lo cual, se divide el valor de la columna cuatro por 1000 (es decir, se aplica el factor 10^{-3}).

De tal modo, en consumo de $1235 \text{ m}^3/\text{Ha}$, mes, queda reducido a 1,235.

- Como esta expresión anterior tiende a usar índices que esta-

rían compuestas por una cifra del tipo de "punto flotante" que tomaría hasta tres caracteres en algunos casos (el ej. anterior 1,235), se estima oportuno "truncar" dicho valor mediante el criterio de "redondear" cualquier cifra volumétrica de esta naturaleza en más o menos 50 m³.

A los efectos del riego este truncado no tiene ninguna influencia sobre el consumo, ya que no debe olvidarse que estamos "asumiendo enteros" al introducir un factor de eficiencia para pasar de consumo neto a volumen bruto.

En consecuencia, y continuando con el ejemplo anterior, el valor de 1,235 quedaría mejor expresado y con un sentido más real a los fines de su aplicación como 1,25 (ya que 1,235 se acerca más al valor 1,250).

Algunos operadores van más allá en el truncado y consideran solo los índices o coeficientes volumétricos mensuales, de 100 en 100 metros cúbicos, es decir, según escala 1,00, 1,10, 1,20, etcétera....

Creemos que es más recomendable, usar intervalos de 0,50, es decir, adoptar la escala de : 1,00, 1,05, 1,10, 1,15, 1,20, 1,25 etc. con 50 m³ de diferencia mínima entre dos coeficientes.

La cifra así lograda y ajustada, se consigna entonces en la columna N° 6 del cuadro que estamos considerando, lograndose de tal forma, por cultivo y por mes, el respectivo "coeficiente".

Una vez cumplido este procedimiento, para todos los cultivos incluidos dentro de la cédula que corresponde al área bajo estudio, se confecciona una planilla general o cuadro resumen

a modo de tabla de doble entrada, correspondiente en el sentido horizontal (de abscisa) a los cultivos y, en el sentido vertical (de columna u ordenadas) a los meses del año.

Es obvio recordar que para cada cultivo, sólo se llenará, los meses que corresponda a su período de riego.

A modo de ejemplo se agrega adjunto el Cuadro N° 29

3.4. Ultimo ajuste del cultivo para las áreas plantadas y regadas en el Distrito o la unidad bajo estudio.

A esta altura del proceso ya se cuenta con los cultivos presentes en el área y su requerimiento o necesidad volumétrica mensual de agua. No obstante antes de calcular las demandas la experiencia muestra que se hace necesario ajustar la correspondiente cédula de cultivos, y, fundamentalmente su porcentual que adquiere así carácter definitivo, para el período.

Esta tarea como ya se ha mencionado, parte de la Administración de riego respectiva pero, por lo común, se completa o, la lleva a cabo en su totalidad, el equipo responsable de los Planes de Cultivo y Riego, que recibe los datos del DISTRITO.

Aún no se ha considerado el Balance (disponibilidades versus requerimientos) ya que no tenemos cuantificadas las demandas todavía en proyección sobre el área, pero cuando más puede acercarse al operador, desde el principio, a lo que es el porcentual cierto de cultivos en la zona, mayor será su grado de seguridad en el momento

CUADRO N° 26 INDICES VOLUMETRICOS UNITARIOS MENSUALES O REQUERIMIENTOS DE RIEGO A NIVEL DE PARCELA

DISTRITO _____ SECTOR _____ AÑO o PERIODO _____
 SUB-DISTRITO _____ SUB-SECTOR _____
 CULTIVO _____

MESES	Requerimiento Neto A Nivel de Parcela		Consumo o Volumen bruto según eficiencia por sistemas de riego considerados.	Consumo o Indices volumétricos de Riego Coeficiente unitario de Riego	
	Lámina	³ m / mes	Para Ef. = m ³ /Ha. mes	En miles de m ³	En miles de m ³ redondeado en 50 m ³
1	2	3	4	5	6
JULIO					
AGOSTO					
SEPTIEMBRE					
OCTUBRE					
NOVIEMBRE					
DICIEMBRE					
ENERO					
FEBRERO					
MARZO					
ABRIL					
MAYO					
JUNIO					
AÑO					

**CUADRO N° 27. EFICIENCIAS DE APLICACION o MANEJO PARA SISTEMA DE RIEGO
POR SUPERFICIE**

Manual AMES, Keller y McCulloch, 1962.

TEXTURA DEL SUELO Y TOPOGRAFIA	SISTEMA DE RIEGO		
	MELGAS	SURCO o CO- RRUGACION	MELGAS EN CONTORNO
1.- Arenosos	%	%	%
a) Bien nivelado	60	40 - 50	45
b) Nivelación insuficiente	40 - 50	35	30
c) Quebrado o pendiente	-	20 - 30	20
2.- Medio, profundo			
a) Bien nivelado	70 - 75	65	55
b) Nivelación insuficiente	50 - 60	55	45
c) Quebrado o pendiente	-	35	35
3.- Medio, poco profundo			
a) Bien nivelado	60	50	45
b) Nivelación, insuficiente	40 - 50	35	35
c) Quebrado o pendiente	-	30	30
4.- Pesado			
a) Bien nivelado	60	65	50
b) Nivelación insuficiente	40 - 50	55	45
c) Quebrado o pendiente	-	35 - 45	30

Cuadro N° 28- EFICIENCIAS DE APLICACION O MANEJO PARA SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION Y MECANIZADO.

Manual AMES, Keller y Mc Culloch, 1962 .

LAMINA DE AGUA APLICADA. mm.	EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA EN MM/DIA		
	5 mm o menos	5-7.5 mm.	7,5 o más mm.
	VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO: 0-6,4 km/h.		
25	68%	65%	62%
50	70%	68%	65%
100	75%	70%	68%
125	80%	75%	70%
	VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO 6,4- 16 KM/h		
25	65%	62%	60%
50	68%	65%	62%
100	70%	68%	65%
125	75%	70%	68%
	VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO 16-24 Km/h		
25	62%	60%	58%
50	65%	62%	60%
100	68%	65%	62%
125	70%	68%	65%

de efectuar dicho balance y asumir la decisión de limitar o no, el área parcial de algunos cultivos, en función del agua como recurso hídrico limitante.

Aunque este ajuste puede llevarse a cabo sobre las mismas planillas de cultivo anteriores, algunos técnicos prefieren contar con otro Cuadro ajustado de las explotaciones, que se caracteriza como Ajustado Final.

Como ejemplo se acompaña adjunto el Cuadro N° 30

La columna número 5 referida a porcentual, adquiere gran relevancia en oportunidad de efectuar el primer planteo de "consumo unitario" del área, cifra expresada en m^3/Ha , que confeccionada en unidad de tiempo (por período en forma global o por mes en forma ajustada) nos permite adelantar un primer balance de, "Disponibilidad versus Demanda", según se vera seguidamente.

Dentro del diagramado orgánico, el ajuste que efectúa una unidad determinada o equipo responsable del dato definitivo (comúnmente Planes de Cultivo y Riego según se ha expresado), puede hacerse de una vez o en iteraciones sucesivas hasta lograr, al entrar en balance, una buena coordinación con la disponibilidad hídrica para el área y, lo que es importante tener en cuenta, adquirir así un sentido real traducido en una respuesta concreta de los productores, quienes modificarán y ajustarán a su vez las respectivas áreas parciales, en función de la recomendación que a tal efecto

pueden llevar a cabo las estidades designadas para ese propósito: las Zonas Agrarias, las Administraciones de Riego, las Comisiones de Regantes, las Unidades de Cooperativas, el Banco Agrario mediante un plan de créditos orientados, etc. El diagrama de Flujo que se muestra en la Figura 3 nos dá una idea más concreta del proceso que cumple esta unidad.

Dentro del mecanismo computacional, esta operación podría contar con algunos ciclos de "retroalimentación" al block "Superficie cultivada y regada a considerar", en la Línea de Cultivos.

3.5. Cálculos de Requerimientos o Volumen Bruto Unitario previo a los efectos del Balance para el Ajuste

En razón de contar ya con los valores referido al requerimiento volumétrico unitario, por mes y por cultivo, es dable efectuar un primer análisis de esta Cédula o Porcentual, logrando de este modo el consumo unitario bruto de los efectos del primer planteo o balance tentativo para el ajuste.

Si partimos del coeficiente o índice volumétrico mensual de riego y, cultivo por cultivo, establecemos su requerimiento en función de su porcentual proyectado sobre la unidad (proporción unitaria o tanto por uno la sumatoria de estos consumos parciales nos lleva al requerimiento total por Ha. de cédula tipo, que multiplicado por el área nos da la demanda total.

Esta cifra es de indudable valor para enfrentarla a la disponibilidad hídricos y lograr así en un Balance de demandas versus

disponibilidades hídricas, las posibilidades de satisfacer los requerimientos hídricos dentro del criterio estocástico que se ha asumido.

Siguiendo el armado del Cuadro N° 31 para el cálculo de demanda unitaria vemos que la columna 1, se refiere a los cultivos presentes en la cédula; la columna 2, a sus coeficientes o índices volumétricos de riego respectivos; este análisis conviene llevarlo a cabo mes por mes, puesto que en función de dicho lapso hemos caracterizado el recurso disponible.

La columna 3, transforma el coeficiente anterior en $m^3/Ha.$

En la columna 4 se consigna el porcentual de cada uno de los cultivos presentes, dato que se obtiene de cuadro anterior, columna quinta. En la siguiente columna del presente cuadro, se lleva el porcentual anterior a proporción unitaria y, finalmente en la columna sexta se obtiene el consumo unitario "ponderado" según porcentual, para lo cual se multiplica el valor volumétrico de la columna 3 por la respectiva proporción consignada en la columna 5.

La sumatoria de la columna seis nos da el total del volumen unitario, considerado en este caso como: $m^3/Ha.mes.$

Esta cifra pasa a ser la "demanda unitaria" y proyectada en el área podría enfrentarse a la "disponibilidad hídrica mensual" respectiva.

No obstante y, con el objeto de reflejar lo más posible la si

tuación real que se plantea en el sistema, aún no se ha tenido en cuenta las pérdidas que ocasiona la distribución y el transporte del agua dentro del sector o distrito, circunstancia ésta que engloba entonces dentro del concepto de "Eficiencia de conducción y distribución", al pie de la planilla.

Aquí también existe criterios y técnicas de estimación, tales como las tablas generales por área y distancia, el nomograma de pérdidas por infiltración en canales basado en la Ecuación de E.A. Moritz, etcétera.

Por lo común, éste es un valor que se asuma dentro de límites bastantes estrechos; así por ejemplo, para áreas donde se practica los sistemas de riego superficiales por gravedad, se asume los siguientes valores en redes con cauces de conducción no revestidos.

<u>Distritos con predominio de suelos sueltos</u>	Grandes	Efic. = 66%
	Medianos	Efic. = 68%
	Chicos	Efic. = 70%

<u>Distrito con predominio de suelos medianos</u>	Grandes	Efic. = 74%
	Medianos	Efic. = 78%
	Chicos	Efic. = 82%

<u>Distrito con predominio de suelos compactos</u>	Grandes	Efic. = 85%
	Medianos	Efic. = 87%
	Chicos	Efic. = 90%

Como en el caso anterior, estos valores porcentuales se llevan a relación unitaria o, se expresan en $\frac{XX}{100}$

De tal forma, si se relaciona el volumen unitario total hallado anteriormente (a nivel de parcela), con este coeficiente de eficiencia se logra un volumen bruto representativo, prácticamente "a nivel de Toma" que expresa de un modo real el requerimiento unitario de todo el área.

Este el valor que se enfrenta con la disponibilidad hídrica.

3.6. Planteo del Balance para el ajuste de los cultivos

Se ha considerado en la presente metodología, este aspecto adicional de un "primer planteo de balance" con el objeto de que, las autoridades responsables del manejo del recurso y, en particular, el equipo de Planes de Cultivo de Riego, obtenga una primera cifra orientadora de las posibilidades de cultivos regados para el período.

Es en razón de ello que se recomienda este balance tentativo el cual es sumamente sencillo y surge por sí sólo, ya que se cuenta con los datos necesarios como para llevarlo a cabo.

Si planillamos dichos datos según se muestra en el Cuadro N° 32, se observa que :

En la primera columna, se coloca los meses del año

En la segunda columna, se anota la disponibilidad hídrica, calculada según el criterio estocástico asumido, mes por mes.

PLAN DE CULTIVO Y RIEGO

Diagrama de Flujo para su procesamiento

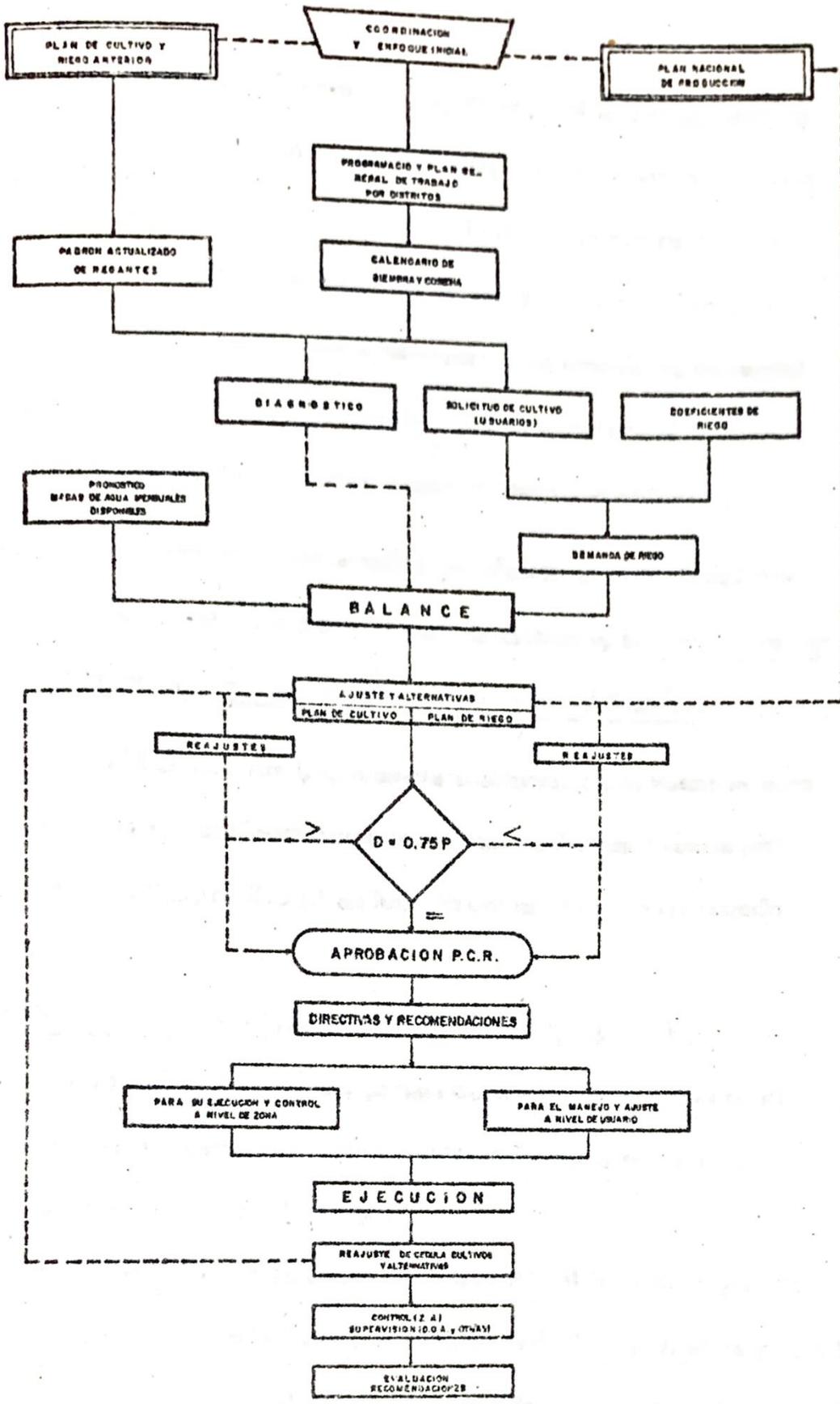


Figura N° 3— PLAN DE CULTIVO Y RIEGO

En la tercera columna, se consigna el volumen bruto mensual requerido preferentemente elaborado "a nivel de Toma" para el área.

Efectuando el balance o recurriendo al enfrentamiento de ambas cifras en la cuarta columna se consignará: el correspondiente déficit mensual si la demanda supera a la disponibilidad o el superávit o exceso si es mayor el recurso, en la quinta columna (porcentaje en función de demanda). Finalmente en la sexta columna se establece el porcentaje de déficit o de exceso según lo que se ha obtenido.

Diligenciada esta planilla, se efectúa el análisis del caso, se caracterizan los meses o el período crítico y, se efectúa las recomendaciones que se estime oportunas para el Distrito.

El Balance final, que puede efectuarse de la misma manera pero una vez confeccionadas las curvas de demanda reales para las áreas tipo, ratificará en función del ajuste estas recomendaciones.

4. ANALISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO Y DRENAJE

Este acápite es de importancia porque dentro del mismo debe considerarse la infraestructura de servicio de entrega de agua, que permite hacer real o efectiva el proceso del riego.

En base de la información obtenida de acuerdo al instructivo para la elaboración del Inventario de la Infraestructura de Riego, Drenaje y de Vías de Comunicación relacionadas con la Operación y el Mantenimiento de Dis

tritos de Riego, elaborado por la Dirección General de Aguas, el Administrador Técnico realizará el análisis de dicha información teniendo en cuenta las siguientes aspectos básicos :

4.1. Red de Riego

Se identificará y cuantificará los problemas que presente la red de riego tales como: facilidad de captación de los bocatomas, número óptimo de tomas de riego a nivel de predio, mínimo longitud de canales y máxima capacidad para el mes de demanda pico, número óptimo de dispositivos de medición y control.

4.2. Red de Desagüe

Los desagües a nivel de parcelas deben estar relacionados por una red de tal forma que sean aprovechados por los terrenos adyacentes y tratando en lo posible que las pérdidas sean mínimas.

4.3. Red de Drenaje

En cuanto a la red de drenaje existentes se identificará y cuantificará los problemas de Operación y Mantenimiento, para la instalación de nuevos drenes se debe tener en cuenta la situación del manto freático, la pendiente natural del terreno, facilidad de evacuación, longitud del dren límite máximo de abastecimiento, ubicación y densidad de drenes, etc.

El procesado de la información relativa a la infraestructura se ha desarrollado a través del "Instructivo para la elaboración del inventario de la infraestructura de Riego, Drenaje y Vías de Comunica -

ción (Directivas Administrativa Permanente N° 14/75-DGA) se re -
mitirá el técnico a dicho instrumento de trabajo. El resultado de di -
cho análisis se muestra en los Cuadros N° 33, 34, 35 recurriéndose a
- veces al Cuadro N° 36 para completar el Inventario.

5 RECURSOS HUMANOS

La evaluación de los Recursos Humanos disponibles en el Distrito de Riego, no se efectúa corrientemente dentro de las tareas a cumplir por las Administraciones Técnicas. Muchas veces la insuficiente implementación técnica con que cuenta los Distritos de Riego redundan en la eficiencia de la distribución y control de las aguas.

Se considera de gran importancia conocer el grado de implementación del Distrito de Riego, ya que las deficiencias en el proceso operativo se hacen más evidentes a nivel de sector y sub-sector de riego, precisamente porque allí es más escaso el personal tanto técnico como de mando medio correctamente preparado y el equipo adecuado de que debe disponerse para realizar las funciones específicas.

Si se hace una primera evaluación de los Recursos disponibles en función de las características y del Desarrollo del Distrito, nos damos cuenta de la necesidad urgente de implementación para el normal funcionamiento, es decir, para una correcta operación del Distrito de Riego.

Para poder evaluar los Recursos Humanos y materiales se debe hacer un análisis previo con ayuda de los cuadros ya considerados, en los cuales se consigna el personal y equipo tanto existente como el que se debe implementar.

ción (Directivas Administrativa Permanente N° 14/75-DGA) se re -
mitirá el técnico a dicho instrumento de trabajo. El resultado de di -
cho análisis se muestra en los Cuadros N° 33, 34, 35 recurriéndose a
- la vez al Cuadro N° 36 para completar el Inventario.

5

RECURSOS HUMANOS

La evaluación de los Recursos Humanos disponibles en el Distrito de Riego, no se efectúa corrientemente dentro de las tareas a cumplir por las Administraciones Técnicas. Muchas veces la insuficiente implementación técnica con que cuenta los Distritos de Riego redundan en la eficiencia de la distribución y control de las aguas.

Se considera de gran importancia conocer el grado de implementación del Distrito de Riego, ya que las deficiencias en el proceso operativo se hacen más evidentes a nivel de sector y sub-sector de riego, precisamente porque allí es más escaso el personal tanto técnico como de mando medio correctamente preparado y el equipo adecuado de que debe disponerse para realizar las funciones específicas.

Si se hace una primera evaluación de los Recursos disponibles en función de las características y del Desarrollo del Distrito, nos damos cuenta de la necesidad urgente de implementación para el normal funcionamiento, es decir, para una correcta operación del Distrito de Riego.

Para poder evaluar los Recursos Humanos y materiales se debe hacer un análisis previo con ayuda de los cuadros ya considerados, en los cuales se consigna el personal y equipo tanto existente como el que se debe implementar.

La información que den los Administradores Técnicos de los distritos de Riego debe ser analizada en toda su importancia, porque de lo contrario imposibilitaría el normal funcionamiento de operación y mantenimiento del Distrito y consecuentemente el responsable sería el Jefe de la Administración técnica del Distrito de Riego. El Cuadro N° 37 incluye un tipo de información.

Habiéndose efectuado de tal modo el análisis de los Recursos tanto naturales como humanos y materiales, los cuales constituyen la información y requisitos previos para el planteo de la Operación de Riego, el Administrador Técnico del Distrito de Riego está en condiciones de organizar la operación de su distrito, que es materia de los siguientes capítulos.

CUADRO N° 32 BALANCE DE DISPONIBILIDAD O RECURSO HIDRICO VERSUS DEMANDA

Cédula o Porcentual N° _____

Período Agrícola _____

Distrito: _____

Sector : _____

Sub-Distrito: _____

Area Considerada : _____

MESES	Volumen Disponible (m3 / mes)	Volumen Requerido (m3 / mes)	Deficit (m3 / mes)	Exceso (m3 / mes)	Porcentaje D. o E. (%)	Cbs.
1	2	3	4	5	6	7
ENERO (1)						
FEBRERO (2)						
MARZO (3)						
ABRIL (4)						
MAYO (5)						
JUNIO (6)						
JULIO (7)						
AGOSTO (8)						
SEPTIEMBRE (9)						
OCTUBRE (10)						
NOVIEMBRE (11)						
DICIEMBRE (12)						
TOTAL (13)						

CUADRO N° 37 ANALISIS DE LOS RECURSOS HUMANOS DISPONIBLES

Distrito: _____

Superficie media regada: _____ Ha.

Año considerado : _____

Cargos Existentes	Personal Técnico		Personal de Mando Medio		Personal no Profesional		OBSERVACIONES
	Nombrado	Contratado	Nombrado	Contratado	Nombrado	Contratado	
1	2	3	4	5	6	7	8
Sub-Total							
Implementación							
Sub-Total							
Total General.							

PARTE SEGUNDA

PLANTEO Y METODOLOGIA DE BASE A ADOPTARSE PARA LA OPERACION

6. INTRODUCCION AL PLANTEO :

Analizada la información básica previa sobre la que se apoya el proceso conocido como "Operación de las Areas o Distritos de Riego", se debe partir entonces de las premisas que pueden considerarse como básicas para una operación exitosa y continuada :

- La Distribución y Entrega del agua debe responder al criterio de evaluación y tasa volumétrica del recurso, de acuerdo a las necesidades de los cultivos.
- Sobre la base de la ecuación o igual :
$$VOLUMEN = CAUDAL \times TIEMPO,$$
 de las dos variables que componen el segundo término: una de ellas actúa como variable independiente para el ajuste de lámina y volumen a entregar.
- Tanto la distribución como la entrega del agua a través de la red, deberá guardar un cierto ordenamiento que asegure el aprovechamiento más integral del recurso en cada lateral, rama y propiedad. A tal efecto, se pondrá una secuencia de operación, mediante un planteo previo optimizado, respetando las coordenadas de cada predio o usuario.
- De ser ello viable y por las razones que serán expuestas, se preferirá en la distribución la denominada entrega volumétrica por turnado, a fin de hacer más aplicables las premisas anteriores, sobre todo en los distritos densificados y los que cuentan con regante numerosos.

- En razón que corrientemente el recurso AGUA actúe como factor limitante, su grado de aprovechamiento tendrá a ser el máximo en todo momento y en cada punto de la red, teniendo en cuenta exigencias de eficiencia en la distribución y manejo.
- Se propenderá al logro de una mayor "Eficiencia de Uso Zonal" (a todo nivel), para lo cual la operación ya optimizada a nivel de Distrito, deberá ser apoyada por una acción o plan de mejoramiento del riego a nivel predial.

Como ya se ha consignado y de acuerdo a dichas premisas, uno de los primeros aspectos a resolver, es el planteo de un proceso normativo y ordenado, implementado a sus diferentes niveles, desde la cabecera del Distrito, sede del ente administrativo del área organizada bajo riego, hasta los sectores, subsectores y, más aún, unidades básicas de riego donde actúan en forma directa en el manejo del recurso los operadores canaleros y distribuidores del agua.

Penetrando en profundidad en este mecanismo y como complemento a la macro-operación, a desarrollarse en etapas posteriores, se llega a considerar una acción más directa sobre el usuario a través del sistema de transvasamiento de pautas: "técnico-regante".

De tal modo se inicia el planteo secuencial de la distribución, entrega y administración del agua caracterizado como "Operación técnica a nivel de Distrito"; se asume que los requisitos previos al proceso operativo que se han consignado en la Parte Primera ya han sido complementados, es decir, que se conoce los parámetros de uso y de diseño que intervendrán en el siguiente paso. Es la secuencia lógica de trabajo.

Algo fundamental en este proceso es que, en todo momento, lo que se preconice o recomiende como método y acción a ejecutar, esa aplicable con la implementación de que se dispone, aunque esta última no sea del todo satisfactoria. La operación programada debe ser real, cierta y aplicable.

Como aclaración previa y necesaria al planteo y análisis para el manejo del agua, se hace indispensable referirse a los dos procedimientos básicos para la distribución y entrega que corrientemente se aplican, dentro de los varios sistemas o procedimientos posibles.

En los métodos o modalidades adoptadas por los diferentes distritos regados para la entrega del agua al regante, debe destacar y diferenciar los dos métodos básicos que se definen técnicamente como :

Entrega en función de demanda libre; y distribución o entrega volumétrica por el sistema de tandeo o turnado progresivo permanente, de acuerdo al ordenamiento de las propiedades de la sección regada; cabe reiterar una vez más que ambos se cumplen con asignación volumétrica previa.

Esta diferencia de criterio y uso para el manejo del recurso, fundamenta las consideraciones que siguen :

6.1. Análisis de los Procedimientos Básicos de distribución y entrega del agua

Cabe enfatizar en primer lugar que dentro de cualquiera de los procedimientos considerados para la distribución y posterior entrega del agua a la unidad parcelaria, debe aceptarse la condición básica de que el monto o volumen que el agricultor-regante recibe en su propiedad deben estar en relación, lo más estrecha posible, con las necesidades previamente

establecidas de sus explicaciones o cultivos, es decir, en todos los casos la entrega es de por sí "volumétrica" y en función del área real del cultivo o de la cédula respectiva para ese ejercicio.

Para que ello sea factible se considera y acepta :

PRIMERO : Que se cuenta con una estructura o elemento que permite valorar o medir el volumen de agua entregada por lo menos a nivel de toma de lateral. Puesto que este volumen es igual al producto de dos variables Caudal por Tiempo, lo más corriente en estos casos es que, conocido el caudal de entrega correspondiente al lateral en uso, se deriva a la compuerta del regante dicho flujo por un determinado tiempo pudiendo consignar así finalmente en la planilla respectiva el producto resultante :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s x T (seg) = V (m}^3\text{)}$$

SEGUNDO : Que se conoce en función de una metodología previa, las necesidades de los cultivos a regar, a fin de establecer una demanda justa acorde con el sentido racional del uso del recurso.

Estas premisas deberán complementarse con el criterio general de que el técnico responsable o el regante, ya sea de por sí o aleccionado convenientemente por un eficiente servicio de acción extensiva, está en condiciones de conocer el cultivo cuando ha alcanzado el umbral crítico de humedad que define la necesidad de un nuevo riego; esto es de gran importancia en la entrega por demanda libre, sobre todo.

De tal modo, ambos procedimientos responden en principio a las necesidades reales de las explotaciones, pero además el método de distribución por rotación continua o "tandeo" que encuadra en el sistema de entrega volumétrica presenta las ventajas de las entregas periódicas y continuas.

Por ello se estima que este sistema constituye una de las expresiones más viables y racionales dentro de la metodología analizada, casi de uso obligado en los distritos muy grandes ya densificados.

Resumiendo los dos criterios o modalidades básicas, puede establecerse entonces los siguientes principios aplicativos.

6.1.1. Distribución del agua por demanda libre

Este método tiende a ser más usado en aquellas áreas bajo riego donde la infraestructura de apoyo alcanzado un grado de desarrollo conveniente, es decir, donde se entrega con el volumen medido en todo momento y se posee, por ejemplo, una estructura de aforo cada cierto número de hectáreas (50, 80, 100) corrientemente; además todas las propiedades cuentan con una compuerta toma de manejo graduable, se conoce con bastante aproximación las pérdidas por conducción y distribución y, la densidad del distrito regado no ha alcanzado aún las características de "minifundio" o área densificada crítica, que tiende a hacer más problemática la entrega por demanda libre.

Las condiciones favorables no están siempre presentes para la aplicación satisfactoria de este método. Por otra parte, se insiste sobre los dos aspectos siguientes:

- Que el agricultor de por sí o convenientemente asesorado debe conocer en que momento efectuar determinado riego el cual debe responder a las necesidades del cultivo, y
- Que en la época de mayor demanda (mes pico) la acumulación de pedidos de entrega puede ser satisfecha en forma ordenada y correcta. Esto último puede resultar problemático y difícil de cumplir en áreas densificadas o, en aquellas zonas con gran subdivisión parcelaria, dado que resulta materialmente muy difícil entregar, controlar y aforar una gran cantidad de parcelas a la vez que no han sido ordenadas previamente para la entrega. No debe olvidarse que algunos distritos de riego o, mejor dicho la mayoría de los distritos regados de cierta antigüedad y desarrollo, superan fácilmente las 500, 800 ó más regantes por dicha unidad de áreas los cuales, en los meses de verano y a partir de principio de estación, tratarían de recibir el agua con mayor regularidad y frecuencia (6 a 8 días término medio, por ejemplo) en razón de la alta evapotranspiración de los cultivos durante dicho período.

Aunque no puede desconocerse que la aplicación del sistema de entrega de "demanda libre", fundado en la verdadera exigencia de los cultivos, se acerca mucho a la condición "ideal" lo dificultoso es su aplicación efectiva en el medio rural pues, dentro de un segundo aspecto complementario, requiere una sólida infraestructura bien implementada.

- Mas adelante se considera el grupo de planillas de apoyo para operar con este sistema. No debe olvidarse por otra parte que el objetivo primordial de este material de apoyo es hacer real el accionar operativo en la campaña, con el mayor sentido de realidad en cuanto hace a su aplicación.

6.1.2. Distribución Volumétrica por turnado o "tandeo"

Como ya se ha adelantado, este procedimiento o método de entrega y distribución consiste esencialmente, en ir dando el agua de riego en forma ordenada y progresiva dentro de cada sección determinada, avanzando lateral por lateral, rama por rama y acequia por acequia (o lateral de servicio) establecido así determinado tiempo de entrega o "uso" del agua para cada compuerta de cabecera de parcela o propiedad en función del tiempo de turno, relacionado a su vez con el volumen ya calculado de entrega por aplicación.

Este tiempo no es arbitrario sino que tiene como base el concepto de "tiempo unitario" calculado para la sección, en función de la superficie de la parcela. Recurrimos aquí al glosario de términos básicos para modelos operacionales, con el fin de establecer estas sencillas ecuaciones :

$$\underline{\underline{TUNIT \times SUPAR = TRIEGO}}$$

El tiempo unitario de riego (TUNIT) tomado como medida unitario, surge de :

$$TUNIT = \frac{TTURN - TDEM}{ASEC} = \text{min / ha.}$$

El significado de los términos es el siguiente :

TUNIT : Tiempo unitario de riego o tiempo de riego correspondiente a la unidad de área (corresponde a tiempo/hectárea).

SUPAR : Superficie de la parcela, predio o propiedad a regar

TRIEGO : Tiempo de riego correspondiente a la parcela o propiedad regada, para ese período o ciclo.

TTURN : Tiempo de turnado total base proveniente del intervalo de riego asumido (días, horas y minutos).

TDEM : Tiempo de demoras intermedio entre propiedades, ramblas etc., calculado en razón del avance progresivo del agua en la red (demora inicial más demora intermedia, expresada en minutos).

ASEC : Área de la sección regada (sub-sector y/o unidad básica de riego).

Cabe enfatizar que el tiempo de turnado no se elige de modo ocasional ya que proviene del intervalo de riego, calculado primero y ajustado después con el procedimiento definido como "análisis de la lámina y cálculo del intervalo de Riego" planillado. Todo ello se explica y desarrolla en detalle más adelante.

Las determinantes básicas para dicho cálculo son, entre otras :

grupo de suelo a los fines de riego, profundidad de mojado ,

porcentaje de aprovechamiento de la capacidad de almacena

miento de humedad útil para el cultivo (lámina neta real) eva

potranspiración del cultivo en mm/día o consumo diario de lá

mina y eficiencia de aplicación o manejo.

Dado que a cada sección corresponde un determinado cau

dal de entrega (Qi) el que a su vez está influido por la "dota -

ción" en el momento de aplicarse el riego, la resultante de esta

combinación de tiempo controlable, por caudal de entrega a mo

do de "mano de agua" dada (QIENTR) en el lenguaje o símbolo

gía asumida) da como resultado el volumen adecuado para cada

aplicación o riego, puesto que, según la ecuación vista con ante

rrioridad :

$$\text{Tiempo (T)} = \frac{\text{TUNIT (min/Ha} \times 60 \text{ (Fac.Seg))}}{\text{Caudal (Q) = QINTR (lit/seg)}}$$

$$\text{Caudal (Q) = QINTR (lit/seg)}$$

entonces :

$$\frac{\text{TUNIT (min/Ha)} \times 60 \text{ (Fac.Seg)} \times \text{QIENTR (lit/seg)}}{1000 \text{ (factor a m}^3\text{)}} = \text{m}^3/\text{Ha}$$

donde :

QIENTR = caudal de entrega o entrada en toma de unidad
agraria predio o propiedad

Esta cuota así lograda corresponde entonces al volumen por apli
cación o entrega, en razón del tiempo asignado a la unidad de

area primero y a la propiedad después. Todo este aspecto se desarrolla en su oportunidad más adelante según ya se ha consignado. Aquí sólo interesa fijar el concepto, que constituye el punto de partida, para este procedimiento de distribución y entrega.

Dentro de esta breve introducción al concepto y recordando los aspectos básicos, queda definido asimismo cada uno de los tiempos relacionados con los diferentes niveles: el tiempo/hectárea (TUNIT), ya visto, el tiempo de riego corresponde a cada propiedad (TRIEGO) según ecuación anterior y, finalmente, el tiempo real disponible de la sección regada que encuadra con el tiempo neto de riego (KRIEGO) y que es igual al denominado TTURN menos los tiempos de demora. Este planteo ecuacional se hace más bien para definir el carácter de la variable "tiempo neto de riego".

Luego :

$$\text{KRIEGO} = \text{TTURN} - \text{TDEM}$$

Recordamos en que se está usando la simbología corriente de aplicación en los modelos de riego y que se insiste en este lenguaje por las implicaciones y proyecciones futuras que se derivan de estos razonamientos, ante problemas de distribución más complejos que han de presentarse.

Es recomendable al efecto, establecer una denominación y simbología lo más uniforme posible, a modo de glosario básico cuyo propósito es que responda a las exigencias modernas que plantea la actual técnica del Riego para el manejo de los Distritos o áreas mayores que, cada vez en mayor medida, interviene en el procesado de las

variables en juego y, poco a poco, se va a ir traduciendo dentro del proceso operacional mediante los modelos computacionales.

Para completar estos conceptos y sin pretender influir en forma definida sobre la adopción de un sistema determinado, cabe consignar que los problemas de sub-división extrema o minifundio bastante usuales por cierto en las áreas regadas, encuentran una solución más viable en el procedimiento de entrega por turno y con el uso de modelos.

Esto es así porque el conocimiento anticipado de los tiempos de riego por propiedad permite establecer en forma previa un tiempo mínimo para las parcelas menores (TMIN), compatible con el proceso de la operación. La mayor viabilidad en las soluciones es lo que permite recomendar prioritariamente este sistema de distribución y entrega.

Por ello cabe consignar que este procedimiento de entrega del agua por turno o "tandeo", está fuertemente aplicado en varias zonas de riego americanos, especialmente en la Argentina, Norte del Perú, Chile, y una vez que se establece la unidad o sección de riego más adecuada para el turno, el sistema funciona sin problemas para cualquier área de distrito. A lo que debe prestarse atención preferentemente es al hecho de que la superficie de dicha sección unidad encuadre dentro de límites lógicos o compatibles para que todo el distrito funcione en un mismo momento turno sus secciones en forma paralela y conjunta fluyendo así el agua continuamente a través de todas las ramas, con el caudal de entrega sub-dividido convenientemente lo que por lo común se hace hasta el nivel de lateral de segundo orden.

En las planificaciones y colonias modernas, el hecho de subdividir según áreas semejantes las unidades y predios a regar, facilita mucho la operación de cada sección.

Puesto que se está considerando los requisitos básicos que hacen a este sistema de distribución, cabe consignar que aquí también debe cumplirse el postulado relativo al caudal de entrega a sección y su

relación con el caudal de entrega a propiedad o, caudal denominado de distribución (QIENTR), el cual deberá ser mayor o, en último, término, igual que el caudal de manejo (QIMAN), recomendado para su empleo por el regante, dentro mismo de la propiedad.

Se cumplirá entonces que :

$$\boxed{QIENTR \geq QIMAN}$$

Se vuelve a enfatizar sobre el hecho de que el agua corre continuamente por los elementos mayores de la red y, recién entra en turno en cada cabecera de sección-unidad de riego, a través del lateral de segunda orden o la rama lateral del tercer orden que la alimenta.

Dicho mecanismo se visualiza mejor mediante un gráfico como se muestra en la Figura N° 4

7. FASES O PASOS PARA EL PROCESO DE OPERACION

La aplicación de uno u otro procedimiento dentro del proceso corriente de la Operación de Riego a nivel de Distrito, así como otros aspectos de su desarrollo, requieren la implementación de un paquete de diferentes elementos de trabajo constituidos por planillas o cuadros de apoyo, que se diligencian o resuelven partiendo de un conjunto de datos y elementos previos, comunes.

La técnica para su desarrollo e implementación se está considerando paulatinamente en este material presentado como instructivo, a medida que

ENTREGA VOLUMETRICA POR TURNADO

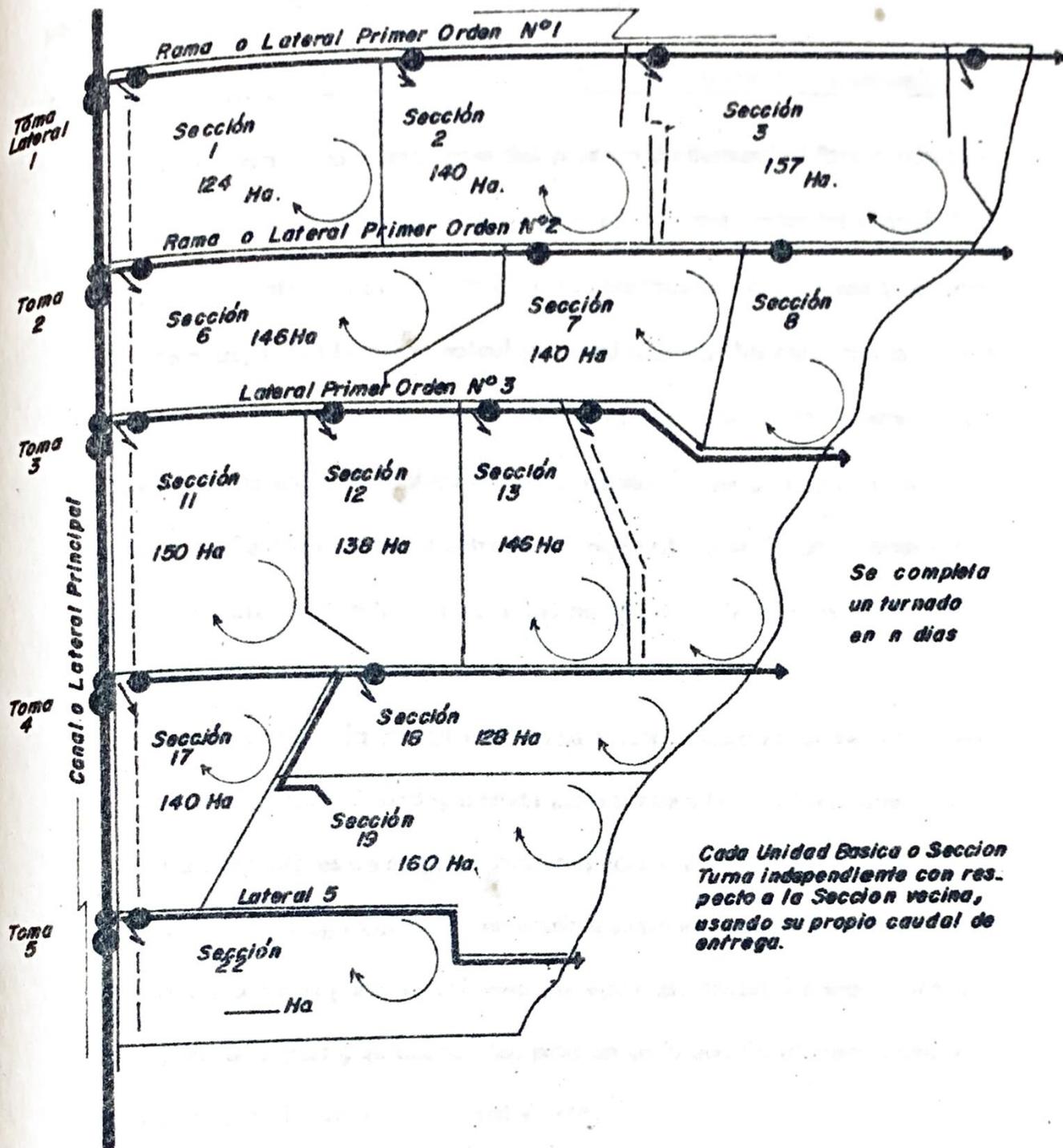


Figura N°4 - MECANISMO DE ROTACION SIMULTANEA EN LA APLICACION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION POR TURNOS EN UN DISTRITO DE RIEGO.

se avanza progresivamente en el detalle del procedimiento operacional, habiéndose presentado ya lo que atañe a los antecedentes y requisitos necesarios.

A fin de ordenar secuencialmente entonces el desarrollo progresivo de la operación se estima conveniente dividir este proceso dinámico en tres etapas o partes diferenciadas que pueden definirse como :

7.1. Fase o Etapa Operacional Primera : Planteo de las Curvas de Demanda .

Considera como primer paso del proceso de demanda hídrica básicamente, mediante la aplicación de los elementos y antecedentes vinculados fundamentalmente con el aspecto de las Explotaciones o Cultivos y su Consumo de agua, hasta llegar a calcular y confeccionar las respectivas Curvas de Demanda hídrica global, a nivel de sector por ejemplo en cuanto hace al área y, en lateral corrientemente de Segundo Orden en lo relacionado con la red. Se asegura así la entrega del agua al grupo de propiedades que sirven este lateral al actuar como Toma de la unidad operativa o en la "Sección-unidad base de riego".

En otros casos, la cuantificación se cumple sólo a nivel de Sub-distrito de riego y aún, de Distrito, cuando estos últimos tienen poca extensión.

Este aspecto es de singular importancia en el proceso operativo de la distribución y entrega del agua, en razón de que va "cuantificando" a todos los niveles, por una parte el volumen de agua que recibirá cada unidad de área y, por otra parte, el caudal del paso en cada una de las estructuras de entrada y control a canales, laterales, etc.

En el capítulo siguiente se detalla con toda minuciosidad, los pasos a seguir para el cálculo de la demanda hídrica y el conjunto de cuadros o planillas de apoyo en que se basa.

7.2. Fase Operacional Segunda: Normas para el Control y Administración del recurso.

Esta parte de la Operación considera esencialmente los elementos de apoyo analíticos y gráficos mínimos necesarios para el balance y control que se debe llevar en la administración del recurso: el grupo de Planillas y Cuadros de asignación y entrega, elementos de análisis etc., que se recomienda sean implementados y procesados en forma permanente por las autoridades de riego, es decir, la Administración Técnica y sus oficinas o secciones de apoyo.

Se trata de un pequeño conjunto de cuadros y elementos a considerar, los que no obstante son suficientes para una operación continua.

Constituye el apoyo administrativo para todo lo concerniente a la demanda y, fundamentalmente como ya se consignara, cumple funciones de balance o técnica contable del recurso.

Como es lógico, este grupo básico de elementos es susceptible de ampliación, mejoramiento, etc. según lo estime conveniente las autoridades de riego, pero cabe hacer presente que, con un juego de planillas básicas de este tipo, ya es dable "manejar" el recurso a nivel de administración y llevar el balance de demandas y entregas de agua, por preodio o regante, en forma satisfactoria.

7.3. Etapas Operacional Tercera :

En este paso se procesa la cuantificación de la demanda a diferentes niveles y se confecciona el diagramado para la Entrega como proceso final.

Avanzando más allá del objetivo alcanzado en forma satisfactoria

en la primera etapa a nivel de sector o de lateral, es dable además ratificar las demandas globales, usando los consumos unitarios de los coeficientes volumétricos de riego y cuantificando lo que ello representa en demanda a los menores niveles, es decir desde el predio con su volumen bruto calculado.

Se puede avanzar así como cultivo, parcela colonia o cooperativa y finalmente hasta la unidad de base distrital.

En esta fase define entonces tanto el consumo predial como así también el de cada unidad técnico-operacional de riego. De lo anteriormente desarrollado hasta el presente se desprende que:

- Es viable, conociendo el cédula de cultivo definitivo para el área y sus superficies parciales, lograr las curvas de demanda a nivel de sector por ejemplo, sin calcular y planillar previamente los consumos unitarios que corresponden a cada propiedad o parcela, ya que se ha tomado área conjuntas o grupos de ellas según las estadísticas globales consistentes que se poseen en la Administración de riego a nivel de: distrito, subdistrito, sector, sub-sector; ello está de acuerdo a las denominaciones adoptadas y al grado de profundidad en el procesado estadístico.

En gran medida, estos datos son privativos de la Dirección de Planes de Cultivo y Riego y condicionan la Etapa Operacional.

Hasta el nivel de área-sector se trabaja en muchos distritos regados, entregando el agua en toma de sector o de lateral por ejemplo y dejando librado a los agricultores o a sus organizaciones representativas (Junta o comisión de Regantes) definir el uso que cada

cual hará del recurso que se recibe, el cual generalmente se turna para su distribución por parte del mismo regante, en un acuerdo dentro del lateral de distribución y entrega.

- Dado que el sistema de operación anterior no resuelve del todo aspectos vitales de la distribución, como son el ajuste y control de la relación: consumo calculado/volumen entregado, se considera que el organismo que administra y distribuye el agua debe ir más allá de la unidad operacional base y definir en forma precisa, en función de tiempo y de volumen, el agua que corresponde a cada grupo de propiedades y finalmente a cada predio o parcela.

En este último caso, también se llega por agrupación y sumatoria a la curva de demanda hídrica de la sección-unidad por ejemplo, pero partiendo de la unidad menor (predio o parcela) cuyo consumo o necesidad de agua para el período quede así perfectamente consignado (procedimiento centrífugo).

La base de ello ha sido la aplicación del coeficiente unitario volumétrico de riego a los cultivos regados en cada predio.

Este procesado expuesto así escuetamente, constituye la columna vertebral de la tercera fase. Por otra parte, este último procedimiento es de aplicación forzado en la mayoría de los casos en que los padrones de uso de agua no se encuentra actualizados y hay que recalcular todo el consumo, desde el predio o parcela, hasta el distrito, revisando y ajustando superficies de cultivo lo que debe hacerse tomando en cuenta predio por predio, razón de que la superficie asignada, cultivada y regada para el ejercicio, año o período agrícola, cambia de

acuerdo a un plan propio de siembras de cada agricultor-regante sin informe previo a la Administración; ésta a su vez analiza y, en última instancia, ratifica (la administración Técnica de riego, oficinas locales de la Zona Agraria o, por el Plan de Cultivo y Riego) antes de asignar el agua para las siembras y cultivos).

Esta ratificación con tendencia al ajuste o limitación de áreas, se lleva a cabo en función de las masas de agua calculadas como disponibles tanto para el área considerada como así también para el ejercicio o período agrícola, mes a mes.

La experiencia muestra que en la mayoría de los distritos regados, el agua obra como factor limitante.

En cierta medida, esta técnica de ajuste progresivo (a veces en necesario hacerlo repetidas veces en el período) se convierte en un proceso de "retroalimentación" que puede ir ajustando los parámetros relativos a "grupos de cultivos", "porcentaje de cultivos", "requerimiento volumétrico a diferentes niveles".

Esta situación aparece muy clara en los modelos y diagramas de flujo básicos que se confeccionan en torno a la Operación.

En esta etapa se lleva a cabo asimismo el diagramado general por unidades de volumen, tiempo y avance en la red para la entrega a las distintas unidades ubicadas en el área donde se ha de operar a nivel de rama, lateral de 2° ó 3° orden, etc.,...

Se tiene así conocimientos de la exigencia hídrica de los cultivos, de las superficies regadas a todos los niveles, conformando la rela-

ción "área-volumen" de acuerdo a las exigencias del manejo y la distribución.

En lo que hace el cálculo de las Curvas de demanda hídrica, es interesante consignar que las mismas pueden producirse, dentro de un proceso secuencial perfectamente definido, a través de dos flujos:

El que corresponde a las características del distrito y su división progresiva en sub-distrito, sector, sub-sector, sección o unidad básica de riego, colonia o cooperativa .

En razón de la infraestructura de servicio y su apoyo físico para la entrega, es decir, la ubicación y número de las compuertas tomas .

Para este último caso la secuencia puede ser como sigue :

canal matriz - canal principal - canal de conducción a área - lateral de primer orden - lateral de segundo orden - (rama) - lateral de tercer orden .

Para este planteo se ha considerado todos los elementos en forma centrípeta, es decir, de mayor a menor. Desde luego, es sólo uno de los criterios que puede adoptarse ya que la decisión en este punto la tomará el Administrador o Intendente de riego en virtud de las características del área, los cultivos y el tipo de infraestructura con que cuenta para la distribución del agua.

PARTE TERCERA

DESARROLLO DE LA OPERACION

Cumplida todas las etapas previas que hacen a los requerimientos o parámetros necesario para el desarrollo de la Operación de Riego, comenzando por la distribución misma del recurso, cabe considerar en primer lugar el volumen o cantidad física de la demanda hídrica para el área a servir.

Dicha demanda debe quedar perfectamente definida en forma de :

Volumen mensual requerido para satisfacer las necesidades de los cultivos hasta el presente, el intervalo base de cálculo considerado es el mes calendario, pero ello no basta para que, apelando a la tecnología adecuada, puede establecerse a nivel quincenal, decenal o semanal.

Por el momento, y a modo de demanda tipo el cálculo estará referido al volumen/mes ó m^3 /mes.

Caudal continuo requerido en toma de la unidad de área considerada (Q_i) que nos permitirá suplir el volumen anterior en el lapso asumido. Este valor de cálculo se refiere a volumen bruto a nivel de toma de área (sección por ej) y se expresa en m^3 /seg. o en lit/seg. de acuerdo a la magnitud del caudal.

Este primer paso para la distribución del agua nos permite conocer la cuantía del recurso que debe manejar la red o infraestructura de riego a los diferentes niveles y de acuerdo a la superficie y clase de cultivos que sirve. Como consecuencia de este conocimiento, es dable lograr asimismo la expresión de una tercera unidad de evaluación en la demanda global, referida a la relación "caudal/superficie" o "dotación" de riego.

8. DESARROLLO PARA LA DEMANDA HIDRICA GLOBAL

A los efectos del planteo y resolución de la Demanda hídrica y sus respectivas curvas en los diferentes niveles de la zona o el distrito bajo estudio, debemos tener en cuenta los siguientes elementos básicos :

Definición y Caracterización geográfica de cada unidad sectorizada

En función del esquema preconizado en el país por las instituciones encargadas de reglamentar y normalizar a este respecto

Este esquema puede ser como sigue :

Distrito (la unidad mayor con relación a la cuenca usufructuada)

Sub-distrito

Sector

Sub-sector

Unidad básica operativa, conocida también como Unidad de base a modo de Sección de riego, si es que se ha seleccionado y calculado el área de la misma en razón de operación turnada con caudales adecuados de manejo o, por tratarse de Cooperativas, Sociedades Agrícolas o regantes mayores con toma propia, que accionan operativamente en forma independiente, con superficie fijas.

Superficie global total cultivada y regada dentro de cada una de las unidades anteriores. En las áreas ya vastamente desarrolladas por lo común la superficie regada de la unidad, (un sector por ejemplo) coincide con la superficie total cultivada dentro de dicho sector. (No hay fracciones en blanco)

La Superficie parcial cultivada y regada de cada cultivo y sus porcentajes

respectivos; la sumatoria de estos parciales, coincidirá con el total regado en la unidad analizada.

Ubicación a nivel de mes del período de requerimiento hídrico para cada uno de los cultivos de la cédula presente.

Todos estos aspectos ya se han tratado y analizado en los acápites anteriores

8.1. Demanda en función de Área

Aunque se conocen diversas metodologías tendientes al logro del consumo de agua a nivel de área, cuyo cálculo se define como Demanda hídrica global, Curvas de demanda, se desarrollará seguidamente en este Instructivo uno de los procedimientos más sencillos y generalizados, que consiste en ir integrando y sumando mes por mes, el requerimiento global de los cultivos presentes o que reciban riego en dicho lapso en forma ardenada.

Cabe a esta altura del proceso, recordar que puede considerarse paralelamente dos enfoques en cuanto hacen al análisis de situación para el cálculo de las curvas de demanda en todos los niveles :

- Demanda en función de área, criterio éste más corriente que establece el consumo según las unidades consideradas en el punto anterior (Distrito, sector, etc.)
- Curvas de demanda en función de la infraestructura y ubicación de las tomas de entrega en la red. La Ingeniería de Riego acostumbra proyectar los consumos, al llevarlos al concepto de "caudal continuo" (Q_i), sobre las tomas de servicio respectivas, con relación a :

Río o fuente principal de agua

Toma del sistema matriz o punto inicial de captación

Toma del canal principal de servicio, que puede coincidir o no con el anterior.

Toma del lateral de primer orden

Toma del lateral de segundo orden

Toma del lateral de tercer orden o rama secundaria si la hubiera, para servicio de un grupo menor de propiedades.

En la medida en que se produzca la coincidencia de "red-unidad de área" se facilitará la correlación entre ambos criterios, ya que por ejemplo, es usual que la toma del canal principal corresponda al distrito, la del canal de servicio puede asimismo servir a éste o a un sub-distrito, la toma del lateral de primer orden a un sector, la del lateral de segundo orden a un sub-sector y la del lateral de tercer orden a una unidad básica de riego o a una Cooperativa de Producción con toma propia.

Cuando un área tipo (un sector por ejemplo) es servido por más de una toma de primer orden, se hace necesario normalizar previamente este aspecto, dentro del acápite "recurso hídrico disponible", fijando perfectamente los límites de cada fuente de agua. Este aspecto ya ha quedado esclarecido en un punto anteriormente tratado. Más aún, cuando suceda que un mismo cauce sirve a dos sectores diferentes, la proporción porcentual del recurso disponible estará dada por la respectiva proporción de las áreas regadas ponderadas, es decir, en razón de superficie cultivada e incidencia de cada cultivo en el consumo general.

A este respecto, un criterio recomendable consiste en elaborar para cada sector o unidad, el requerimiento básico, unitario en función de la respectiva cédula, proyectando este consumo sobre el área en cuestión.

En otras palabras, se establece el requerimiento volumétrico ponderado para cada unidad o sector según lo desarrollado.

De tal forma, se logra una representatividad real de cada unidad y una correlación satisfactoria entre: "toma de infraestructura o red y área".

En todo los casos, se establece como cálculo obligado el logro del requerimiento en función del área, ya que partimos de datos de "superficie-cultivo" para cuantificar y proyectar los consumos.

8.2. Cálculo volumétrico de la Demanda global

A fin de ordenar y simplificar el desarrollo del cálculo correspondiente a la demanda global hídrica en área determinada, se remite al operador el procesado de una planilla de apoyo como la que se muestra a través del Cuadro N° 38, la cual se diligencia al nivel seleccionado para suplir la demanda.

Aunque se ha anotado en las respectivas columnas, símbolos adoptados a modelos operacionales para casos de Distritos Complejos, se estima y confía que ello no confundirá al factor u operador.

Su procesado según el orden propuesto es el siguiente:

- En la columna 1, se colocan ordenadamente los cultivos que entrán en el mes considerado; corrientemente, se parte de los meses de agosto o setiembre, época que coincide con el principio

Cuadro N° 38
DESARROLLO DE LA CURVA DE DEMANDA (I)

DISTRITO _____ RIO _____
 SUB DISTRITO _____ CANAL _____
 SECTOR _____ MES O PERIODO _____
 SUB SECTOR _____

CULTIVOS	COEFIC. VOLUM. DE RIEGO m ³ /Ha x 10 ⁻³	REQUER. POR MES m ³ /Ha.	SUPERFICIE REGADA Has.	VOLUMEN PARCIAL MES m ³	VOLUMEN INCREME. POR EFIC. DIST. m ³	INCREM. POR OTROS REQUER. m ³	VOLUMEN REQUER. EN TOMA m ³
(i,n)	COEVAR (i,n)	VOLPA (i,n)	CULTI. (i,n)	VOLPAR (i,n)	VOPADI (i,n)	LIXI (i,n)	VOLTA (i,n)
1	2	3	4	5	6	7	8

$\bar{X} \text{ VOLPA} = \sum \text{VOLPA}$
 $\sum \text{CULTI (i,n)}$
 $\sum \text{VOLTA (i,n)}$

- del período en la mayoría de las cuencas regadas.
- En la columna 2, se coloca el valor del Coeficiente o Índice volumétrico unitario mensual de riego correspondiente al cultivo para el mes considerado. (COEVCOR en el lenguaje computacional).
- De otro modo y, si no se trabaja con los coeficientes volumétricos puede colocarse el valor de la lámina bruta unitaria mensual de cultivo a nivel de parcela, extraída del procedimiento de cálculo de consumo o requerimiento mensual que se haya seleccionado (LAMBA o lámina unitaria mensual).
- En la columna 3, los valores anteriores se llevan a volumen expresado en m^3/Ha para el mes considerado, por cultivo multiplicado el Coeficiente de riego por 10^3 o, la lámina por 10. (VOLPA en la simbología para el modelo).
- En acápites anteriores se ha descrito el procedimiento para lograr estos valores, ya partiendo del coeficiente de riego o de lámina bruta.
- En la columna 4 se consigna las superficies parciales correspondientes a cada cultivo dentro de la unidad de área considerada (CULTI).
- En la columna 5, se coloca el producto de la col. 3 x la col. 4, es decir, se halla el volúmen parcial mensual que requiere el área correspondiente a cada cultivo.
- En la columna 6, el valor o volúmen anterior se incrementa en función de la Eficiencia de conducción y distribución según se ha

analizado anteriormente, o se calcula el valor de este incremento y se suma el volumen de la columna 5.

Para el desarrollo de la curva de demanda se debe considerar dicha eficiencia. El valor bruto incrementado ya directamente, (VOPADI) se obtiene según hemos visto, de multiplicar el volumen parcial, por la eficiencia asumida como coeficiente del tipo : $1/0,xx$

$$\text{Vol. BRUTO INCREM.} = \text{VOL. PARCIAL} \times \frac{1}{0,XX}$$

ó igual :

$$\text{VOPADI} = \text{VOLPAR} \times \frac{1}{0,XX}$$

Vuelve a insistirse en que los términos y simbología mencionados en este Instructivo y que definen los parámetros, se caracteriza por adaptarse a su aplicación en modelos de tipo computacional, ya que incluso esta metodología, la del cálculo de Curvas de Demandas hídricas ya ha sido tratada dentro de ese enfoque y se cuenta con Diagramas de Flujo operacionales adoptados a su aplicación para modelos en lenguaje Fortran.

- En la columna 7, se consigna el valor que debe sumarse al volumen anterior para el caso de que se presente la exigencia de otros requerimientos adicionales, como podría serlo el denominado "Requerimiento de Lixiviación" en áreas salinizadas, sobre riego, etc.

En este caso, este volumen adicional, independiente del anterior, se sumará para lograr el valor de la columna siguiente. Corrientemente y en razón de el más generalizado en este aspecto es el mencionado Requerimiento de Lixiviación, se ha denominado a esta adición: LIXI, en el lenguaje operacional.

En la columna 8, se obtiene finalmente el volumen bruto total requerido a nivel de Toma para uno de los cultivos o explotaciones dentro del mes considerado (VOLTA).

Como se describiere en el punto anterior, la columna 8 = columna 6 + columna 7 o $VOLTA = VOPADI + LIXI$

En el caso de no contar con volúmenes adicionales de tipo LIXI, $VOPADI = VOLTA$.

Finalmente, la sumatoria de todos los volúmenes parciales de los cultivos, nos da el consumo mensual total bruto (VOLTAM), dato que corresponde a un punto de la Curva de Demanda, en el período o Demanda total para el mes considerado.

Se contará con tantos puntos para la curva como meses corresponden al período de riego.

8.3. Cálculo de los valores del Caudal continuo mensual medio requerido

A fin de satisfacer la demanda volumétrica planteada en el punto anterior, se hace necesario calcular cual será el caudal que debe entregarse en la Toma, para que al cabo del lapso considerado (un mes para las curvas de demanda de punto mensual) se haya entregado el volumen consignado.

Cuadro N° 39
DESARROLLO DE LA CURVA DE DEMANDA (II)

DISTRITO _____
SUB DISTRITO _____
SECTOR _____
SUB SECTOR _____

RIO _____
CANAL _____
MES O PERIODO _____

MES	REQUERIMIENTO EN TONJA (m ³ / mes)	FACTOR TIEMPO (seg. / mes)	CAUDAL CONTINUO (lit. / seg.)	DOTACION REL : Q / Sup. (lit. / seg. Ha.)
MES (1,12)	VOLTAM (1,12)	SEGME x 10 ⁻³	CAUDAM (1,12)	DOTAM (1,12)
1	2	3	4	5
ENERO (1)				
FEBRERO (2)				
MARZO (3)				
ABRIL (4)				
MAYO (5)				
JUNIO (6)				
JULIO (7)				
AGOSTO (8)				
SETIEMBRE (9)				
OCTUBRE (10)				
NOVIEMBRE (11)				
DICIEMBRE (12)				
AÑO (T)	VOLTAT	_____	CAUPAM = Σ CAUDAM	DOPRAM = Σ DOTAM

Continuando con la sencilla metodología desarrollada a través de la planilla anterior, se remite el operador a la que pueda considerarse como la continuación de aquella, y que se muestra en el Cuadro N° 39: "Desarrollo de la Curva de Demanda (II)".

Procediendo ordenadamente:

- En la columna 1, se consigna los meses del año, a fin de anotar en el renglón correspondiente, el valor mensual de cada parámetro. En la presente planilla estos meses se presentan en orden cronológico comenzando por Enero y numerados del 1 al 12, en razón de la aplicación que se le da a este Cuadro en el modelo operacional.

De otro modo, es más corriente y recomendable iniciar el período con el mes en que comienza a "crecer" la demanda de riego (generalmente agosto a setiembre) según ya se ha mencionado en el punto anterior.

Para la gratificación, es recomendable ubicar en el centro del diagrama el o los meses de mayor consumo, a fin de que el aspecto gráfico o curva pueda visualizarse mejor, según se verá más adelante, al proceder a dicho paso.

- En la columna 2, se anota el volumen total bruto de cada mes obtenido de la sumatoria de la columna 8 del cuadro anterior (VOLTAM en el lenguaje computacional).

- En la columna 3, se coloca la cantidad de segundos que corresponde a cada mes considerado, pero dividido por 1000 a modo de factor (E). Agosto 2.678,4; Setiembre (2.592,0, etc.).

Se lo designa al factor segundos: SEGME (básicamente es $\text{SEGME} \times 10^{-3}$)

- En la columna 4 se consigna el resultado de dividir el valor de la columna 2 por la columna 3, obteniéndose así el caudal continuo (Q_i) expresado en lit/seg. por la naturaleza de los términos, lo que resulta más objetivo dada la magnitud corriente de los sectores de riego.

De otro modo: $\text{CAUDAM} = \text{VOLTAM} \times \text{SEGME}$. Cuando se trata de grandes áreas y se espera valores de caudal mayores, se prescinde de dividir los segundos/mes por mil en la columna 3 y el resultado se expresa directamente en m^3/seg .

- Se obtiene de tal modo valores puntuales para cada mes que se vuelcan en planilla y que condicionana en consecuencia la curva de demanda, expresada como caudal continuo a nivel de Toma, en la unidad de área considerada.

Se logra de tal modo un dato de sumo valor para la satisfacción de la demanda hídrica de los cultivos dentro del Distrito, cual es el caudal continuo que debe circular permanentemente por cada toma de cabecera de área.

Este cálculo a los efectos de la operación coordinada dentro en la misma unidad o Distrito, conviene llevarlo a cabo para cada Sector (y aún sub-sector si lo hubiere) de riego.

8.4. Cálculo de los Valores de Dotación o Relación : Caudal/superficie

Hasta este punto se ha obtenido la curva de demanda en las dos unidades corrientes de uso, Volumen y Caudal, las que son sufi

ciertes para el proceso operacional respectivo. Con ello ya pueda cumplirse una entrega racional a nivel de grupo de propiedades ser vidas por una misma Toma.

No obstante, resulta muy conveniente asimismo conocer los valores de "dotación" como se le designa comunmente, a la relación "caudal/superficie" es decir, el caudal continuo que co-respondería para cada unidad hectárea, mes por mes, expresada dicha relación entonces en :

lit/seg.Ha.

Cabe consignar aquí que esta es la aceptación más antigua que encuadra dentro del concepto de "coeficiente de riego", aunque a fin de evitar confusiones se seguirá designando aquí este valor como "dotación".

La importancia que tiene este valor de "dotación", radica en su aplicación en Ingeniería de riego, como base para el diseño y dimensionamiento de la red de servicio, ya que es fundamental conocer el "mes pico" de dotación (correspondiente al pleno verano para la mayoría de las zonas) a fin de diseñar con dicha capacidad los canales o, como es recomendable, aún con un por ciento más de la capacidad requerida en el mes de mayor consumo.

Para lograr este valor, sencillamente se divide el caudal continuo hallado anteriormente llevado o expresado en litros/seg., por la superficie servida expresada en hectárea. De otros modo:

$$\text{DOTACION} = \text{CAUDAL CONTINUO} \cdot \% \cdot \text{AREA SERVIDA}$$

$$6 \text{ DOTAM} = \text{CAUDAM} \cdot \% \cdot \text{AREA}$$

A título informativo, puede hallarse la media aritmética estadística de cada uno de los últimos parámetros (CAUDAM y DOTAM) que surge de la sumatoria de los valores del período, en cada caso, dividido por el número de meses considerado, para conocer los valores generales de área.

Se completa así el detalle referente al cálculo y análisis de la Demanda hídrica.

8.5. Graficación de la Curva de Demanda

Tanto los valores mensuales de Volumen mensual VOLTAM, como así los del Caudal continuo CAUDAM y Dotación DOTAM, se grafican en un sistema simple de coordenadas, para lo cual, en la abscisa se colocan los meses del año, teniendo cuidado, como se anticipa de comenzar éstos por el principio del incremento en el período de riego (agosto o setiembre) de modo tal de que los valores o "picos" queden en la parte central del gráfico.

En la ordenada, puede confeccionarse tres escalas paralelas, referidas a:

Volumen mensual expresado en m^3 /mes (VOLTAM)

Caudal continuo requerido mensual, expresado en m^3 /seg
ó en lt/seg. de acuerdo a la magnitud de los valores
(CAUDAM)

Dotación o relación: caudal/superficie, expresada en:
lt/seg. Ha. (DOTAM)

Se recomienda usar trazos o colores diferentes para evi-

tar confusión en los parámetros analizados.

La Figura 5 que se muestra como ejemplo, ilustra sobre el

particular. De tal modo queda definida hasta aquí, la caracterización de la DEMANDA, cumpliéndose el primer gran objetivo de la operación misma.

Hasta aquí se opera corrientemente en lo que hace el cálculo previo a la Demanda hídrica, para los casos de distribución y entrega del agua por Demanda Libre.

Dentro de las dos variables que componen el volumen de entrega, queda así definido el factor CAUDAL de entrega de Toma, constituyéndose el VOLUMEN a su vez en una variable determinante del tiempo de riego.

Así por ejemplo, si nos encontramos en una Lateral cuyo Caudal continuo (Q_i) para determinado momento de la Curva de Demanda, es un valor de 180 lt/seg, y se debe entregar a un predio el volumen solventado o requerido para esa aplicación de 6.500 m^3 en total, el tiempo de entrega será :

$$\text{si : } Q \times T = V$$

$$\text{luego: } T = \frac{V}{Q}, \text{ y}$$

$$T_{(\text{min})} = \frac{6.500 (\text{m}^3) \times 1000 (\text{Fact. lts})}{180 (\text{lt/seg}) \times 60 (\text{Fact. min})} = 602 \text{ min} =$$

$$\text{aprox. } \underline{10 \text{ horas}}$$

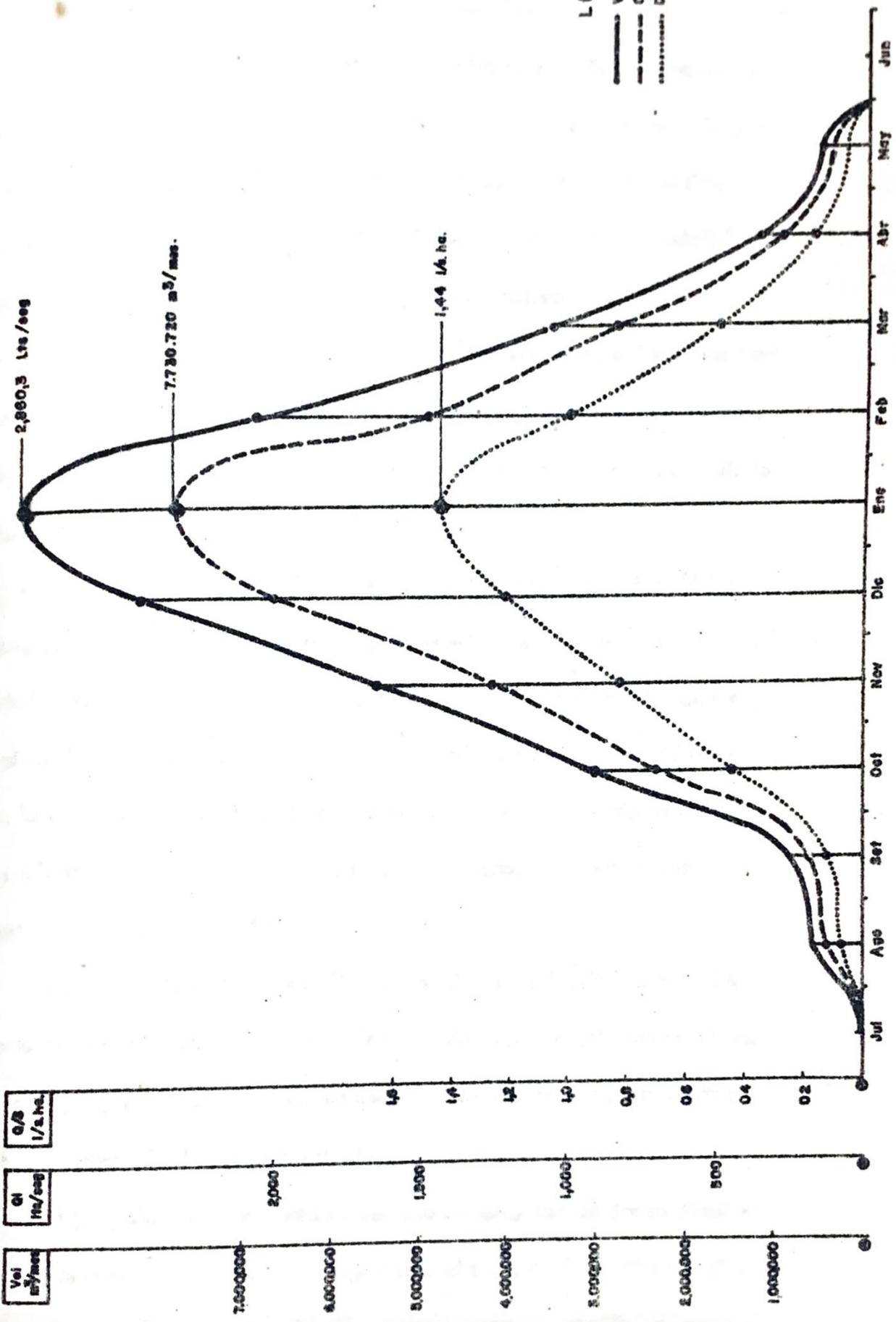
Dicho procedimiento de cálculo es el usual para satisfacer la demanda dentro de la modalidad antes mencionada.

DISTRITO: SUB DISTRITO:
 SECTOR: CANAL:

Vol
m³/seg

CI
lts/seg

Q/S
l/s. ha.



LEYENDA

- VOLUMEN MENSUALES
- - - CAUDAL CONTINUO REQUERIDO
- DOTACION: RELACION CAUDAL - SUPERFICIE

Figura No. 5 Curva de Demanda Mensual

9. DESARROLLO DE LA ETAPA OPERACIONAL SEGUNDA : NORMAS PARA EL CONTROL Y ADMINISTRACION DEL RECURSO.

Esta fase del proceso selvenciado e integral relativa al manejo y al mismo tiempo control de agua, ha dado origen a una metodología que se ha caracterizado por ser sumamente variable, planteándose la diferencia, en cada caso, de acuerdo al país a que pertenece la "escala" adoptada para el movimiento o manejo administrativo.

Asimismo, dentro de un mismo país puede suscitarse diferencias tanto en razón del grado de adelanto tecnológico del área explotada, como así también en función del grado de implementación que posee el distrito de riego.

Por ello y con el propósito de situarnos dentro de un nivel lógico que, por una parte, satisfaga los requisitos mínimos que hacen al proceso administrativo y, por otra parte, constituya un "modus operandi" de real aplicación acorde con el desarrollo alcanzado por los distritos de riego de la costa, se adoptará para este desarrollo el procedimiento de Balance de asignación y entrega a nivel quincenal y mensual, apoyado con los partes diarios de operación.

Este sencillo método es aplicado con éxito en distritos conocidos como de "nivel avanzado o desarrollado". Al efecto pueda citarse como ejemplo, entre otros, el Distrito de Riego de Lambayeque (Zona Agraria II) en el norte del Perú y otros vecinos.

El procedimiento presenta la ventaja de que, con contadas planillas y manteniendo el Padrón de regantes o el registro de cultivos a nivel de predio actualizado, es posible llevar un balance y estadística suma -

mamente satisfactorio.

Desarrollado en forma sucinta, este proceso puede ordenarse dentro del siguiente esquema:

9.1. Actualización del Padrón de Regantes y/o del Registro de Cultivos

Como requisito específico en lo que hace al control administrativo de cada unidad predial o rengante, se requiere contar con el dato actualizado de la propiedad regada, sobre todo en lo que hace a áreas parciales cultivadas, superficies del predio bajo registro etc.

El otro aspecto paralelo que se refiere a la superficie cultivada y regada para el período, ha quedado resuelto a través de los pasos mencionados con anterioridad, por lo que ahora se hace necesario conocer los cultivos a nivel de predio.

Como no se ha recomendado todavía en este Instructivo ningún tipo o sistema de "registro-padrón" dado que por lo general la dependencia administrativa existente tiene ya definido el mecanismo de registro, se apelará a dicho instrumento de registro y control.

Por su sencillez y para seguir el ordenamiento probable de su encolumnado, se muestra en la figura correspondiente al Cuadro N° 40 una ficha o modelo de Padrón de uso agrícola corriente, la cual consta de siete columnas y es de aplicación muy usual.

Toma como punto de partida el Número de orden en la columna primera, consignando en función ya sea del ordenamiento del registro de la cabecera de la Administración de Riego, o, mejor aún, con relación a la posición dentro del Lateral en la red.

En primer lugar se considera el lateral de 2° orden y, de faltar éste, el lateral de 1er, orden. Este último criterio facilita notablemente la operación a nivel de laterales y unidades menores en general. Existe normas a este respecto.

En la columna segunda se consigna el Número de Código castral (corresponde a ubicación y ordenamiento "geográfico" dentro del registro).

La tercera columna se refiere al Número de toma de propie-dad y facilita el ordenamiento en el proceso de entrega paulatina.

La cuarta columna queda registrada con el Número del usua-rio, regante y/o predio, según corresponda.

La quinta y sexta columna se consigna la Superficie predial, en primer lugar total (según escritura, etc.) y en segundo lugar cul-tivada y regada.

Finalmente se dispone de una columna para Observaciones,

9.2. Volumen asignado a cada parcela o propiedad

Contando por una parte con la superficie actualizada del pre-dio en lo que hace área cultivada y regada en el período, y por otra parte, con los consumos respectivos en función de mes y cul-tivo, ya vistos con anterioridad puede calcularse el volumen asigna-do a la propiedad sobre la base del llenado de una planilla de tra-bajo como la que muestra el Cuadro N° 41

Para ello, en la primera columna se colocan los cultivos, se-gún orden decreciente del área cultivada y regada.

CUADRO N° 41

VOLUMEN ASIGNADO POR PARCELA, PROPIEDAD o REGANTE

Distrito: _____
 Sector: _____
 Canal: _____
 Lateral: _____

Nombre: _____
 Código: _____
 Mes: _____
 Período 6
 Año agrícola _____

CULTIVOS	Índice o Coeficiente volumétrico mensual .	Volumen Unitario (m ³ / Ha)	Superficie cultivada y regada (Has)	Demanda o volumen parcial asignado. (m ³ / mes)
1	2	3	4	5

VOLUMEN TOTAL Predio o Regante m³ / mes: _____

Recuérdase que un mismo cultivo puede figurar más de una vez (el maíz por ejemplo) cuando cambia su fecha de siembra y, en consecuencia, varían también sus coeficientes volumétricos mensuales.

Es obvio recalcar que la sumatoria de las áreas parciales destinadas a explotación, concordará al final con la superficie del cultivo/periodo.

En la segunda columna se consigna el valor del coeficiente volumétrico mensual, según lo visto anteriormente. Dada la complejidad de la mayoría de las cédulas unitarias prediales en razón de la presencia de los "cultivos de pan llevar fluctuantes según época" esta planilla de volumen asignado debe efectuarse mes por mes, aunque ello requiera mayor detalle o trabajo.

En la tercera columna se anota el volumen unitario que resulta de multiplicar la columna 2 por 1,000 si es que estamos trabajando con coeficientes volumétricos corrientes, de X,XX.

En la columna cuarta se anota la superficie parcial correspondiente a cada explotación o cultivo en el proceso considerado, según lo actualizado y ya aprobado por Planes de Cultivo y Riego.

En la columna quinta finalmente, se consigna el producto de los valores de la 3a por la 4a, es decir, se cuantifica en metros cúbicos por mes, el volumen correspondiente a cada cultivo.

Al final de esta quinta columna, la sumatoria de estas cifras nos dará el volumen total correspondiente a la parcela o predio.

Cabe agregar a modo de comentario, que si se considera y agrupa las propiedades según unidad básica de riego, luego sub-sec

tor, sector, etcétera, hasta llegar a distrito, se puede re-elaborar las curvas de demanda de área respectivas o, lo que es lo mismo verificar los valores o "chequear" las curvas globales confeccionadas según los procedimientos desarrollados con anterioridad.

Si en un distrito o área regada se logra coincidencia entre las cifras obtenidas por ambos procedimientos (el centrípeto y el centrífugo) es decir, de distrito a parcela y, de parcela a distrito respectivamente, puede decirse que se conoce a satisfacción la demanda hídrica a todo nivel en el área bajo jurisdicción de la administración respectiva.

Hasta este punto llega por lo común el proceso de detalle o cuantificación de los requerimientos hídricos, en el procedimiento de entrega por Demanda libre.

Esto es así puesto que, al dejar establecido el volumen predial o a nivel de regante se complementa uno de los dos aspectos básicos de dicho balance: el volumen asignado.

La satisfacción de dicha necesidad por parte del ente administrativo de aguas es el otro aspecto que complementa al proceso y, dicha entrega se producirá en función de la demanda que haga conocer oportunamente el responsable del predio, a través de los formularios de predio de riego.

Esto nos está indicando que mediante la adopción de la demanda libre, el procedimiento operacional podría simplificarse considerablemente, siempre que dicho sistema pueda ser aplicado exitosamente. De tal forma el mecanismo de entrega se facilitará en todo sentido.

9.3. Balance de Asignación y de Entregas, a nivel mensual

Con los elementos y datos que ya se posee, por una parte volumen asignado o a requerir y, por otra parte, registro para volúmenes de entrega, se puede poner en marcha el mecanismo de control progresivo y de administración del recurso, planteando el correspondiente Balance de Entregas, el cual se apoyará en :

- Volumen asignado y/o aprobado, por Plan de Riego para el período considerado, expresado en m^3 / mes.

Este dato ya hemos visto como se procesa y obtiene.

- Entregas mensuales contabilizadas, que corresponde, como su nombre lo indica, al valor acumulado mensual de los volúmenes que la propiedad recibe en la toma de propiedad o predio dentro de ese lapso.

Para complementar este balance se sugiere adoptar una planilla semejante a la que se ofrece en el Cuadro N° 42, de optimos resultados en las zonas como la ya mencionada del norte del Perú, sur de Argentina, etcétera.

Esta planilla de balance, corresponde que sea confeccionada para cada Usuario o regante.

Sucintamente, su implementación se lleva a cabo del modo siguiente :

- La primera columna corresponde al detalle de la Cédula de Cultivos ya caracterizadas en forma definida en los pasos anteriores.

El orden prioritario lo define generalmente la superficie parcial destinada a cada explotación, comenzando de mayor a menor.

Esta área queda consignada en la segunda columna, con el total al pie.

Las columnas siguientes establecen lapsos mensuales y deben ser llamados con el valor del volumen asignado y aprobado, preferentemente mes a mes y, más aún cultivo por cultivo. La unidad empleada es m^3 /mes.

No obstante, los volúmenes asignados pueden figurar también en una sola columna horizontal, a la altura del renglón que especifica "Total", ya que lo que interesa en última instancia, es el total mensual asignado. El detalle por cultivo sólo ayuda a ejercer un mayor control del manejo y destino del agua.

Consignado el total de las asignaciones mensuales, se observa en el renglón inmediato inferior, lo relativo a Entregas Mensuales.

Ello indica que, es este renglón y mes por mes, se contabiliza el agua entregada volumétricamente al predio.

Desde este punto y, por simple enfrentamiento de asignaciones y entregas, es decir, por el procedimiento de balance, se establece los valores mensuales de "exeso" (se entregó más volumen que el asignado) o de déficit (se entregó menos volumen que el asignado).

Para poder contabilizar los valores anteriores, debe recurrirse a los siguientes elementos auxiliares.

9.4. Movimiento y control de entregas

Todo el movimiento que corresponde al registro y control de las entregas que se van sucediendo a lo largo del período de riego con relación a un predio, puede contabilizarse en dos planillas de trabajo, cuya confección puede responder a los siguientes modelos:

9.4.1. Los Partes diarios de entregas

Los cuales son llevados corrientemente por el Sectorista, con datos recibidos de él a los operadores de compuertas y tomas.

Su planteo es sencillo y una modelo de hoja de parte se muestra en el Cuadro N° 43

Caracterizado el regante en función de las columnas primeras y segunda, las tres columnas siguientes definen el "tiempo de riego" aplicado, es decir, el tiempo de entrega del caudal correspondiente al lateral que sirve a la propiedad (este caudal se había caracterizado como caudal de entrada o entrega).

El tiempo se consigna en horas y minutos, o en minutos.

El valor del caudal medio mantenido durante este tiempo de entrega, queda consignado en la columna siguiente, la sexta, en unidades de lt/seg. Finalmente, multiplicando

Caudal x Tiempo, es decir, el gasto anterior, en lt/seg por el tiempo en minutos y por factor de tiempo (minutos a seg) se obtiene los litros entregados en ese riego, valor que dividido por mil, queda expresado como volumen en m^3 /aplicación. Ello se anota en la columna final, la septima.

9.4.2. Control volumétrico de las entregas

Dicho control o más precisamente su contabilidad, se lleva a cabo volcando los valores de los partes diarios de entrega diferenciados por usuarios o regantes a una planilla del control volumétrico, que puede confeccionarse según el modelo que se muestra en el Cuadro N° 44

El mecanismo de esta planilla se opera del siguiente modo :

- En la primera columna, están anotados los meses del año, divididos en primera (1ra) y segunda (2a) quincena

Correlativamente a la diferenciación en quincena , se observa que cada lapso mensual está provisto de dos renglones.

En el superior, se anota los volúmenes que entran o se contabilizan dentro de la primera quincena y en el renglón inferior, los valores correspondientes a la segunda quincena.

Una sola columna nos permite de este modo consignar los riegos en el día en que se ha producido.

Así, primera columna de "Días" y entregas de volumen

encabezada con los números 1 - 16" indica que :

Si la anotación se efectúa en el renglón superior es

que el riego se cumplió el día 1° del mes.

Si en cambio la anotación queda registrada en el ren-

glón inferior del mes, el riego se ha llevado a cabo el día 16 .

Ello es así, sucesivamente, para cada columna siguien-
te, dentro de los días 1 y 17, 3 y 18, 4 y 19, etc .

En la columna final puede totalizarse el volumen en-
tregado en la quincena.

Sumando ambas quincenas, se tiene el valor o volumen

mensual entregado, este se lleva a la planilla anterior
ya mencionada.

Como se comprenderá, esta sencilla contabilidad de
entregas facilita notablemente el manejo del recurso
y resuelve el problema de la necesidad de control vo-
lumétrico.

Para el sistema de distribución en demanda libre, este

mecanismo contable resulta esencial y cumple los

requisitos establecidos en la reglamentación de aguas.

9.5. Aplicación y uso de las Ordenes de riego

Como puede deducirse, de acuerdo al sistema de distribu-
ción y entrega adoptado, la administración de un Distrito puede trabajar

con o sin órdenes de riego a nivel de usuario :

En el procedimiento de entrega por demanda libre, a requerimiento del regante, la orden de riego resulta esencial para iniciar el mecanismo de entrega.

Evidentemente, ello presume la aceptación de ciertas premisas, según se ha visto oportunamente. Como se consignará, el agricultor "de por sí o convenientemente asesorado", debe definir con acierto el momento de efectuar el pedido correspondiente al riego que necesita.

En un distrito moderno, no densificado y con un sistema técnico de apoyo, estos pasos secuenciales pueden ser cumplidos con solvencia en lo que hace el factor tiempo.

A medida que la situación del distrito es más compleja, el mecanismo de distribución fundado en el pedido previo que se asienta a través de la orden de riego, sufre distorsiones que alteran sus reales beneficios.

Por otra parte, se ha constatado en la mayoría de los distritos la tendencia del agricultor a retacear agua al cultivo, debido a que el pago del servicio se cumple en razón volumétrica de la entrega.

Aunque esto aparentemente ayudaría a ahorrar agua y por lo tanto a incrementar la eficiencia del manejo del recurso, esta última premisa es válida sólo en distritos bien previstos y donde es norma regar con exceso.

En la mayoría de las áreas regadas de la vertiente occidental andina

BALANCE DE ENTREGAS

DISTRITO _____ NOMBRE PADRON /ORDEN _____
 SUB - DISTRITO _____ USUARIO O REGANTE _____
 SECTOR _____ SUPERFICIE PROPIEDAD _____
 SUB-SECTOR _____ AÑO O PERIODO _____

Asignado y/o aprobado por Plan de Riego del Periodo (m³/mes)

Cedula de CULTIVOS	Area Regada Hqs	Asignado y/o aprobado por Plan de Riego del Periodo (m ³ /mes)															
		Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Moy.	Jun.	Año			
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
TOTAL																	
ENTREGAS MENSUALES																	
BALANCE																	
		EXCESO															
		DEFICIT															

El volumen mensual asignado se obtiene de multiplicar el area cultivio por el indice volumetrico mensual.

y de la costa del Pacífico, el recurso hídrico actúa como factor limitante y, en gran parte del período, retacear o disminuir la dotación de agua a los cultivos trae como consecuencia una disminución de la producción esperada. Las cosechas son menores.

Las órdenes de riego presentan corrientemente una forma similar que; responde al modelo presentado en el Cuadro N° 45, el cual suele estar confeccionado en talonarios por triplicado; el original queda para el control en la administración del distrito; el duplicado se archiva en el sector o unidad operativa; y el triplicado, se le entrega al usuario.

Estas órdenes no son utilizadas en los grandes distritos donde predomina el sistema de distribución por tandeo o turnado, ya que el regante conoce con anticipación y así lo certifica su planilla predial de riego, cuando le corresponde al agua y durante que lapso o tiempo .

10. CUANTIFICACION DE LA DEMANDA A DIFERENTES NIVELES.- DIA - GRAMADO Y TURNADO

El conocimiento del volumen asignado a cada parcela o propiedad según se ha desarrollado en el acápite anterior, facilita el proceso correspondiente a la entrega del agua, en el sistema ya tratado de distribución por turnado.

Cuadro N° 45 - ORDEN DE RIEGO

Orden de Riego N° _____

Distrito:

Sector _____

Sub-Sector _____

Predio:

Codigo N° _____

Usuario _____

Turno:

De día _____ horas

A día _____ horas

Volumen _____ m³

Fecha _____

Canalero o Vigilante

Funcionario Responsable

- Su empleo se generaliza a nivel de Sub-Sector y se emite por triplicado (1: control administración - 2: archivo sector o distrito - 3: usuario).

volumetrica se lleva a cabo en función de dos variables inter-relacionadas entre sí: Caudal y Tiempo.

Cabe efectuar entonces algunas consideraciones en lo que respecta a la primera variable, el aspecto caudal, de gran importancia en este procedimiento.

10.1. Características de los cuadales de entrega y de manejo

Con relación a este factor, puede establecerse las siguientes bases de trabajo comunes:

El caudal de entrega (QIENTR en el lenguaje computacional) que sirve a la propiedad, dependerá del gasto que entra a la "boca-toma" o a la "compuerta", del lateral o rama que sirve a la unidad básica de riego, lo que a su vez está influenciado por la "CURVA de demanda".

Ambos valores, caudal y área, se relacionana a través de la "dotación" correspondiente al mes o período, es decir a la relación caudal/superficie que, como sabemos, se expresa en la curva de demanda según la unidad: lt/seg.Ha.

A título de ejemplo se muestra en el Cuadro N° 46 los diferentes valores que asume el caudal para distintas unidades básicas de riego o secciones, dentro de los límites de dotación que pueden presentarse en diferentes momentos del período de riego (0.40 a 0.80).

Si como es usual, el área regada durante el período se mantiene prácticamente constante y se considera la ecuación:

$$Q_i \times T = d \times S$$

(Caudal por tiempo = lámina por superficie)

Se cuenta aquí con variables prácticamente independientes de tipo constante (lámina y superficie) y, dos variables fluctuantes, caudal y tiempo la que a su vez se hallan relacionadas entre sí, para producir el volumen requerido.

Una vez establecido el tiempo de riego para el área, si se adopta el criterio de mantener dicho tiempo-base en todo el sector para ordenar secuencialmente el regante en el proceso de entrega, el caudal es el único factor que queda como "variable independiente".

Ello lo confiere al procedimiento la denominación de "entrega volumétrica a caudal variable y tiempo constante", que es uno de los sistemas más usados y con el que se logra resultados satisfactorios.

Se recuerda que dificultoso sería usar el factor "tiempo" como variable independiente semanal, quincenal o mensual y, por ende, cambiantes. A cada cambio de tiempo (o de turno) correspondería confeccionar un nuevo "rol" de distribución.

Debe entenderse no obstante, que el otro factor, al que Caudal no varía constantemente sino en ciertos intervalos de tiempo (cada semana, cada quincena, cada mes) en razón del ajuste que debe lograrse entre el requerimiento hídrico de los cultivos y la masa de agua disponible.

Pero como ya el área a regar está ajustada por PCR de acuerdo a la disponibilidad hídrica, el mayor factor que incide para la variación establecida de los caudales es la necesidad de la planta, la cual ha sido previamente calculada o, mejor dicho "estimada" con procedimiento ya consignados, según la Curva de Demanda.

CUADRO N° 46, VALORES DE LOS CAUDALES DE ENTREGA PARA DISTINTAS AREAS Y DOTACIONES DE 0.40 - 0.60 - 0.70 y 0.80 LT/sg. Ha.

AREA DE LA SECCION CONSIDERADA.	Dotación según época de distribución (Lt./seg. Ha.)			
	0.40	0.60	0.70	0.80
HAS.	C A U D A L			
	Lt/s	Lt/s	Lt/s	Lt/s.
90	36	54	63	72
100	40	60	70	80
120	48	72	84	96
140	56	84	98	112
150	60	90	105	120
160	64	96	112	128
180	72	108	126	144
200	80	120	140	160
220	88	132	154	176
250	100	150	175	200

Las variaciones anteriores del caudal se producen dentro de ciertos márgenes, que la investigación y la experiencia ya han centrado en cierta medida, a título de "unidades racionales".

Así como ejemplo, el caudal de entrega (o QIENTR) puede definirse como promedio de "mínimo" racional para el valor de 60 lt/seg continuos, con un "mínimo minimorum" aceptable de 35 a 40 lt/seg para casos de más excepción.

Del mismo modo puede hablarse de un "promedio de máxima" fluctuante entre los 145 a 150 lt/seg., continuos, con "meximo maximorum" de hasta 180 a 200 lt/seg.

Aunque debe reconocerse que actualmente algunos distritos de riego en América se manejan en sus secciones con unidades y emplean módulos de caudal superior a los 200 lt/seg., cabe expresar sobre el particular que dicha circunstancia puede obedecer a situaciones particulares del área (suelo extremadamente sueltos, eficiencia de conducción y distribución muy baja, etc) por lo que asimismo, el uso de caudales de entrega mayores conduce inevitablemente a eficiencias de riego sumamente bajas, en todo sentido y, no son de ningún modo aconsejables.

Máxime si el regante no está compenetrado del objetivo que se persigue al "colocar" una lámina de agua sobre determinado terreno y en consecuencia, usa caudales de manejo internos excesivos e irrigaciones "mojando" y avanza sobre el terreno.

Para completar esta idea "cuantitativa" de los caudales de entrega y distribución, puede mencionarse los cuatro valores más corrientes de uso en la mayoría de las cuencas regadas latinoamericanas, ellos son:

- 55 a 60 lt/seg. valor sumamente corriente para unidades o secciones de riego menores, sobre todo aquellas situaciones en áreas densificadas, con minifundio.
- 85 a 90 lt/seg. gasto sumamente generalizado y de cómodo manejo al exceder en aproximadamente un tercio a la capacidad de trabajo de un operario-rengate con relación a la unidad de manejo (el QIMAN) este caudal se acostumbra dividir en "manos" o caudales de manejo.
- 115 a 120 lt/seg. caudal también muy aplicado sobre todo en zonas de riego con unidades mayores corrientemente, es te gasto se acostumbra a dividir dentro de la propiedad entre 3 a 4 veces.
- 140 a 160 lt/seg. para unidades que presentan ciertas características que requieren este tipo de caudal mayor; se divide en varias "manos" de agua.

Cabe completar esta breve acotación, consignando que el tamaño general de las unidades básicas o secciones de riego que permite un manejo racional en todo sentido, fluctúa por lo común entre 120 a 180 Ha. En muchos distritos mexicanos se repite la unidad de riego de 150 Ha. y en la cuenca regada de Cuyo (Arg) de 160 a 200 Ha.

De ningún modo debe entenderse que una unidad de riego pre supone una unidad administrativa, ya sea sub-sector o sector dentro del distrito.

Ambas unidades podrían coincidir en aquellos distritos menores (sobre todo los más densificados o sub-divididos) pero, por general, un sector de riego está integrado por un cierto número de unidades básicas de operación.

Como es obvio deducir el gasto correspondiente al caudal de entrega (QIENTR) puede ser igual o mayor al de manejo (QIMAN) pero no menor. Cuando se trabaja con gastos de entrega muy pequeños, lógicamente el caudal de manejo se ve afectado ya que el caudal disminuye en razón de la eficiencia de conducción o distribución hasta la parcela. Ello afectará también los tiempos.

10.2 Caracterización del Turnado, base para el tiempo de riego

Procedimiento de lámina e intervalo

Si se analiza el tiempo o intervalo que transcurre entre la aplicación de las láminas de riego, se constata que:

- En las zonas se manifiesta uniformidad climática que tiende a un proceso de evapotranspiración más o menor parejo y constante los intervalos de aplicación mantienen una cierta periodicidad de lo largo de todo del ciclo (8 días, 10 días, 12 días etc.)

En este caso, el tiempo de turno o turnado coincide corrientemente con el tiempo de riego $R/T = (R - \text{riego}; T = \text{turno})$

- En aquellas regiones donde existe estaciones climáticas diferenciados (verano-primavera-invierno) los intervalos de aplicación fluctúan, haciéndose más cortos en verano y más espaciados a medida que la temperatura media desciende.

En este caso, solo en cierto lapso (verano) la relación $R/T = 1$, ya

que puede darse también que se necesite dos turnos para aplicar un riego ($R/T = 1/2$) y aún, cuatro turnos ($R/T = 1/4$)

R = tiempo de aplicación o riego

T = tiempo del intervalo o turno de entrega

Se cuenta con varios procedimientos tendientes a la obtención del tiempo de riego o intervalo, los que pueden consultarse en los manuales de riego que se cita en la bibliografía.

La casi totalidad se basa en enfrentar la lámina neta (a consumir) con la evapotranspiración del cultivo.

Sobre dicha base, puede confeccionarse una sencilla planilla, como se muestra en el Cuadro N° 47 que obra a modo de guía para la determinación del intervalo y tiempo de riego.

Sumariamente, su procesado es el siguiente :

- En la parte superior se considera el cultivo a analizar y el área donde el mismo se explota, a los efectos de la incidencia de los factores agro-climáticos.

- En la primera columna, se coloca la cifra correspondiente a la capacidad de almacenamiento de humedad útil seleccionada de acuerdo al grupo de suelos dominante en el área bajo estudio

Este valor se expresa en la unidad mm/dm y se obtiene del grupamiento de los suelos que se ha efectuado con anterioridad mediante su caracterización fundamental en suelos suelos (arenosos o livianos) francos (o medianos y pesados (arcillosos o compactos).

CALCULO PARA AJUSTE DE LAMINA Y DETERMINACION DEL INTERVALO DE RIEGO

CULTIVO : _____
 DISTRITO : _____ SUB-SECTOR : _____ SECTOR : _____

BASADO EN EL PROCEDIMIENTO EDAFOLOGICO, CON PARAMETROS AJUSTADOS A CULTIVO, SUELO Y AREA

GRUPO DE SUELO (Esp. clima. Hd. éfil en mm/día).	PROFUNDIDAD CONSIDERADA DE MOJADO (d.m.)	LAMINA NETA CALCULADA mm.	LAMINA NETA REAL (0,6 de Lam. neta) (mm.)	EVAPORACION ESTACIONAL MEDIA (mm/día).	VALOR RELATIVO COEFICIENTE (%)	EVAPO-TRANSPIR. SEG./EPOCA (mm/día).	INTERVALO RIEGO CALCULADO (días)	INTERVALO RIEGO ASUMIDO (días)	EFICIENCIA ASUMIDA DE APLICAC. (%)	LAMINA BRUTA REQUERIDA (mm.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				Verano Otoñ.- Prim: Invierno						
				Verano Otoñ.- Prim: Invierno						
				Verano Otoñ.- Prim: Invierno						

El estudio y clasificación de los suelos a los fines del riego constituye un gran capítulo que ha sido considerado aparte y tema sobre el cual se cuenta con material bibliográfico e instructivo.

- En la segunda columna, se consigna la profundidad considerada de mojado a los fines del riego, la bibliografía de trabajo cuenta con tablas de consultas según cultivos y tipo de suelos, no obstante, más real será la cifra asumida en esta columna cuando más experiencias regionales y/o locales se logran a través de los Centros Regionales de Investigación Agrícola, Laboratorios de Cooperativas Agrarias, unidades y equipos de trabajo de las Direcciones Generales del Ministerio de Agricultura y de la ONERN, etcétera. Esta profundidad se registra en dm.

- En la tercera columna se anota la lámina neta calculada que surge de anotar o sea multiplicar la columna 1 x 2. Al multiplicar mm/dm x dm, el resultado se obtiene en mm.

- En la columna cuarta se consigna el valor de la "lámina neta real", que surge de establecer un porcentaje del valor neto anterior, como resultado de considerar como límite mínimo de tensión de succión a los efectos del aprovechamiento de lámina, el umbral crítico o de trabajo" (límite mínimo económico de humedad a los efectos de un comportamiento más efectivo del cultivo en ese suelo y por ende para mayor cosecha.)

- Este tema ha sido considerado en el desarrollo de los cursos pero

se recuerda que cuando no hay datos regionales adoptados a la relación "suelo/cultivo", se acostumbra tomar entre el 55% al 65% de aprovechamiento del rango total de humedad.

El coeficiente más usado, corresponde a 0,60, de tal modo, que lámina neta real = $0,60 \times \text{Lám. neta}$

- La quinta columna se consigna el valor de la Evaporación estacional media diaria, expresada en mm/día, para los diferentes periodos considerados.

Este aspecto del tema se trata en detalle en el desarrollo de la bibliografía.

- A fin de ajustarse el valor anterior a las exigencias del cultivo y procesando los volúmenes 6 y 7, el dato de evaporación unitaria se relaciona con el cultivo de acuerdo a la ecuación $E_a = E_o \times K$, siendo E_a la evapotranspiración con relación al cultivo, basado en los valores de K_c , en los coeficientes similares de Blaney y Criddle, etcétera.

Esta es una de las formas de llegar a la evapotranspiración real del cultivo en este caso partiendo de la evaporación dada en los boletines meteorológicos.

Si en cambio se cuenta en el área con ensayos y trabajos sobre evapotranspiración potencial confiable, se usará este dato en reemplazo de los de E_o (evaporación), relacionando E_p (o valor potencial) con E_a a evapotranspiración real, por factor.

Más aún si se ha definido ya este dato mediante investigaciones practicadas en la zona por las Estaciones o Centros Experi

mentales de Investigación, se adoptará estos valores locales
Si se ha sugerido el procedimiento de la evaporación como
punto de partida, es debido a que corrientemente éste es el
dato que más se encuentra en los boletines meteorológicos y
de estaciones de registros; resulta la evapotranspiración real
Ea, se consigna en la columna 7.

Como el coeficiente es adimensional, el valor continúa en la
unidad mm/día.

La resolución del dato correspondiente a la columna 8 se lle-
va a cabo dividiendo el valor de la col. 4 por la col. 7 cir-
cunstancia ésta que no necesita explicación ya que se define
por sí sola; mm dividido mm/día, queda como unidad : días.

De acuerdo al intervalo hallado en la columna 8 se lleva a la
unidad "día" asumiendo corrientemente el valor más cercano
al día y fracción hallados en la columna anterior.

Ej: 7,4 días puede ser 7 días, si es que deseamos que la plan-
ta "trabaje" más holgadamente u, 8 días si es que el cultivo
en ciertos casos pueda ir un poco más allá del umbral crítico
asumido .

La adopción de un intervalo que constituye el "turno-base"
(TTURN) está influido a su vez por otros factores que en la
mayoría de los casos el operador hace intervenir en función
de experiencia .

En modelos operacionales se ha establecido $TTURN = ITEMPO$,
por constituir una variable entera considerada en minutos :

Ej : 8 días = 11.520 minutos

Un ejemplo concreto aclaratorio pueda ser el siguiente:

Asumiendo que el intervalo calculado se ha obtenido la cifra 7,7 días, no obstante el operador ha adoptado el tiempo-base de 8,16 días, es decir 8 días y cuatro horas

Lo ha inducido a ello, entre otros, los siguientes argumentos : asumir un turno de 8 días base, permitir la rotación del día semanal dentro del sistema de entrega turnada, 8 días es una semana y un día; sumada una fracción tal que además permite corrimiento progresivo de la hora turno (se corre 4 horas por turno) de modo tal, todos los regantes, a su debido tiempo y en forma progresiva secuenciada, regarán alternativamente de día de tarde y de noche.

Esta circunstancia surgida del ejemplo se aclara más adelante al considerar los turnos por predio o regante.

- A los efectos de contar con el dato de "lámina bruta" que oportunamente puede verificar las láminas y volúmenes calculados anteriormente por los procedimientos empíricos ya mencionados, se considera y coloca en la columna 10 la eficiencia de aplicación adoptada según ya se ha analizado.

- Finalmente, en la columna 11 se obtiene la lámina bruta resultante a nivel de parcela o, lámina bruta requerida, expresada en mm.

Para ello ya se ha visto que se relaciona la lámina neta real

con la Eficiencia, según la Ecuación : $Lam. bruta = Lam. neta$

Se cuenta así con el intervalo de riego o lapso para turno-base y, se ratifica un valor de lámina que, repetido en el período, permite cuantificar el consumo y ajustar los datos de requerimiento anteriores.

10.3 Ordenamiento progresivo en los laterales de las superficies actualizadas bajo riego a nivel predial

Al considerar la distribución y entrega del agua en cada predio por predio o regante por regante, se hace imperativo coordinar los dos parámetros de situación que concurren a este paso :

Ubicación ostuación del predio con respecto a la red de distribución o servicio y superficie actualizada, aprobada y regada, para cada una de estas unidades menores.

Contamos con el apoyo de los croquis de distrito a nivel de sector y sub-sector confeccionadas corrientemente a escala entre 1:5.000 a 1:20.000 (depende del tamaño de la unidad de área) y, del padrón distrital de regantes con sus superficies actualizadas por cultivo.

El detalle de la superficie aprobada y ordenada entonces puede presentarse en función de lateral de red (generalmente lateral de segundo orden) consignando el número de orden del regante en el sentido en que avanza el agua (desde el nacimiento del lateral hasta su extremo), según se van presentando las tomas de propiedad.

Una planilla resumen de este tipo se muestra en el Cuadro Nº 48

aunque en la misma se ha vuelto a anotar pautas que no son del todo necesarias pero que se han incluido sin embargo por que la experiencia muestra que, al presentarse situaciones du dosas o no debidamente aclaradas (repetición de nombre de re gantes, por figurar así en distintas unidades parcelarias o, por llamarse igual).

En este caso, el número de padrón o código deja debidamente aclarado la cuestión.

Se insiste asimismo sobre la actualización de las superficies cultivadas y regadas.

Al diligenciar una planilla de este tipo, con todas las pautas que hacen a la caracterización exhaustiva de cada propiedad, se lleva a cabo prácticamente una actualización del padrón de regantes con el agregado de que los mismos que presentan en el cuadro debidamente ordenado geográficamente en función de la red de servicio y con sus cultivos actualizados.

10.4. Análisis del Tiempo de Riego para entrega volumétrica por turno, a nivel de predio o regante

Con los parámetros ya establecidos y las pautas logradas según los procedimientos desarrollados, se ha dado las condiciones para establecer el tiempo de riego real a asignar a cada unidad regada.

Para ello conviene enfatizar con mayor detalle sobre los siguientes aspectos.

10.4.1. Tiempo unitario de Riego

Es el tiempo correspondiente a la unidad de área dentro del turno (TUNIT). Su unidad de medida usual es min/Ha.

Dentro de la forma más sencilla, si imaginamos que una sección o área regada tiene un sólo cultivo con X hectáreas, al dividir el tiempo disponible de turno (TTURN) por el área regada, por ejemplo ASEC, se obtiene el tiempo unidad correspondiente en min/Ha, si es que previamente hemos convertido el tiempo de turno a intervalo en minutos.

10.4.2. Tiempo de Demoras

En el sistema de distribución no obstante, entra también otra variable (usualmente no considerada en muchos distritos) que corresponde al tiempo "muerto" o tiempo de "demora" compuesta principalmente por lo que tarda el agua en llegar de la toma a la primera propiedad (demora inicial o TDEMI) y, las demoras parciales al producir un cambio de rama, lateral de tercer orden etcétera (TDEM2). El total se conoce como tiempo de demoras (TDEM) y, a fin de prorratcarlo entre los regantes de la unidad básica, se acostumbra restarle previamente del tiempo total de turno; en modelos operacionales se lo conoce como JTEMPO (Variable entera, en minutos).

De tal forma, recapitulando el Tiempo calculado disponible o tiempo Neto de riego para el turno será igual a :

Tiempo total de turno base - tiempo de demoras

De otro modo :

$$KTEMPO = ITEMPO - JTEMPO \text{ (recuérdese la simbología ya citada)}$$

Luego, el tiempo unitario de riego, como se consignará será igual al tiempo de turno o turno (TTURN), menos total de demoras (TDEM), dividido por el área riega (ASEC).

10.4.3. El tiempo de Riego para el predio su valor surge en

consecuencia de proyectar el tiempo unitario sobre la superficie parcial correspondiente al predio. De una forma sencilla, si por ejemplo el tiempo unitario es de 75 minutos/Ha y la propiedad posee 5 Ha., el tiempo de riego será $75 \times 5 = 375$ minutos, o 6 horas 15 minutos.

Pero la situación se hace compleja si dentro de la propiedad, como ya se consignara, hay una cédula de cultivos y no una sola explotación, que puede ser o no numerosa y que podría incluir asimismo, un cultivo repetido en diferentes épocas de siembra.

A fin de ordenar este aspecto del problema y resolverlo esencialmente se resuelve el cálculo de Volumen re-

querido por Propiedad o R gant obtenido según Cua-
dro N° 41, como este Volumen es igual a Caudal por
Tiempo, conociendo el Caudal de entrega queda defini-
do el tiempo, en minutos/propiedad.

Se resuelve también el mismo parámetro en forma indi-
recta, puesto que, haciendo el caudal fijo el volumen
es dependiente del tiempo de riego, como se ha visto.

Como el método base para el desarrollo de este procedi-
miento indirecto pero más minucioso se sigue el traza-
do del Cuadro N° 49, cuyo procedimiento es el siguiente :

- En la primera columna se consigna los cultivos or-
nados a semejanza de lo procesado anteriormente.

- En la segunda columna se coloca el consumo o vo-
lumen parcial asignado al cultivo, dentro de la pro-
piedad, usualmente para el mes considerado.

- En la tercera columna se consigna el caudal medio
de entrega que se requiere en función de los cálcu-
los previos de disponibilidad hídrica en función
del área correspondiente que sirve. Una base efec-
tiva para este parámetro la da la dotación del mes
que surge de la curva de demanda (relación caudal/
superficie), ya que :

$$\text{Si } \text{DOT} = \text{Qi}/\text{SUP}; \text{Qi} = \text{SUP} \times \text{DOT} \quad (\text{DOT} = \text{dotación})$$

Para mostrar un ejemplo, si en una sección de 150 Ha, se espera una dotación de 0,65 lt/s.g.Ha para el mes de noviembre, el caudal respectivo de entrega (QIENTR) será :

$$Q_i = 150 \text{ (Ha)} \times 0,65 \text{ (lt/seg.Ha)} = 97,50 \text{ lt/seg}$$

es decir, entre 95 a 100 lt/seg. (En todos los casos debe tomarse medidas enteras y admitir un rango de variación). Este gasto debe ser verificado a nivel de toma, y ajustado.

- En la cuarta columna se anota el tiempo parcial de turno calculado para el cultivo analizado, tiempo que surge de :

$$\text{Si } VOL = Q_i \times TIEM \text{ luego } TIEM = \frac{VOL}{Q_i} \times F_c$$

(a minutos)

Continuando con el ejemplo, si un cultivo requiere

en su área parcial un $VOL = 3.800 \text{ m}^3$, el $Q_i = 100$

lt/seg, deberá aplicarse durante :

$$\frac{3.800}{100} \times 1000 = 38000 = 633 = 635 \text{ minutos}$$

(se redondea)

El factor de relación $\text{m}^3/\text{lt (1000)}$ y min/seg (60)

puede reemplazarse por la cifra 16,66

- Finalmente, la sumatoria de los tiempos parciales de cultivos nos integra el tiempo total para el predio en su parte regada, según cédula aprobada oportunamente por PCR, es decir se obtiene el tiempo total para

turno. (Recuérdese que PCR = Plan de Cultivo y Riego).

10.4.4. Ajuste del Tiempo de Riego

Es muy importante reiterar aquí que para que ello se produzca en forma satisfactoria, el valor del caudal de entrega no se elige de modo arbitrario, sino que es la "alícuota" de la curva de demanda calculada en gasto continuo (Q_i), proyectado sobre el área de la unidad de riego a la que sirve. El tiempo real logrado aquí debe coorninar con el tiempo teórico calculado para cada riego en la unidad, puesto que se ha trabajado con parciales de cultivo que en última instancia dan sumatorias iguales para el área considerada y es esta unidad de base sector o distrito.

Este ajuste, aún variado proporcionalmente las cifras totales, no afecta la corrección del procedimiento por cuanto en todo momento se mantiene también la "alícuota" de tiempo que corresponde a cada propiedad en función de los requerimientos de su cédula particular.

Es obvio recalcar que tal situación tiende a solucionar de por sí o lleva muy poco ajuste a medida que la cédula es más simple y requiere menos cálculos, hasta llegar según se ha visto a la situación ideal que plantean las áreas con cultivos permanentes, donde el tiempo de riego predial (TRIEGO) = tiempo unitario (TUNIT) x Sup de la parcela (SUPAR)

CUADRO N° 49 **TIEMPO DE RIEGO POR PREDIO O REGANTE**

Sector: _____

Nombre _____

Sub-Sector: _____

Código _____

Canal: _____

Turno _____

Lateral _____

Periodo, Trimestre, Mes _____

CULTIVOS	COEFICIENTE EN TIEMPO UNIDAD min / Ha.	SUPERFICIE CULTIVADA y REGADA Has.	TIEMPO PAR - CIAL POR CULTIVO min / Turno
1	2	3	4
TIEMPO TOTAL DE RIEGO		TOTAL HAS.	min

TIEMPO TOTAL DE RIEGO POR TURNO AJUSTADO _____

CAUDAL MEDIO DE ENTREGA _____ lts /seg.

Un factor muy corriente que incide para que las entregas reales sean menores de los volúmenes calculados, lo constituye la circunstancia de que por lo común el recurso agua y en consecuencia el parámetro Caudal (Q_i) actúa como factor limitante y se produce una reducción proporcional de la entrega volumétrica en la medida en que el gasto que entra por la toma es menor que el calculado y/o esperado de acuerdo al pronóstico de masas de aguas disponibles.

Ello hace que los valores surgidos de los cálculos que se llevan a cabo en el procedimiento, adquieren carácter de meta o monto ideal a que se tiende y que se logra únicamente cuando el manejo de las eficiencias es lo más correcto dentro de los esperados y los caudales del periodo en el cause que alimenta el sistema, se mantienen prácticamente sobre lo normal.

Como fase final de este procesado deberá considerarse un ajuste y correcciones con tendencia al "redondeo" de los valores hasta lograr que manteniendo la relación de alicuotas ya sea en función de volumen requerido o en razón de la superficie servida la sumatoria de los tiempos parciales "cierre" con el tiempo total de turno disponible o intervalo de riego.

10.5. Diagramado de riego

Con los elementos expuestos así elaborados, se está en condiciones de proceder al diagramado de riego, el cual consiste en apla-

nillar cada predio titular o regante, de acuerdo al orden establecido en la red ya consignada en cuadro anterior pero, en este caso referido a los tiempos de riego, que le corresponde a cada una. Como se trata de diagramado para la entrega del agua por turno, en forma progresiva, el total de las propiedades que conforman una unidad básica o sección conforman un turnado completo, el cual debe cerrar para el tiempo base de turno establecido, incluyendo la demora.

A su vez, como ya expresamos que el tiempo total de turno es igual al tiempo disponible de riego más el tiempo de demora, se hace necesario consignar también en el cuadro las demoras existente, reales y ubicadas en su situación con respecto a los factores: regante y tiempo.

Para ello se sugiere el diagramado del Cuadro N° 50 que se muestra de ejemplo y se considera una vez complementados los datos del predio en las columnas 1 a 4.

En la columna 5 se coloca el tiempo efectivo de riego asignado a la propiedad o regante, según la superficie regada en la columna 4.

En la columna 6, el tiempo de demora calculada para el avance del agua en la red, según el planeamiento en este aspecto se llevará a cabo en oportunidad del análisis de la red de servicio y ubicación de tomas (Ello forma parte de los estudios previos a la Operación o "Requisitos" para el riego).

En la columna 7, va el tiempo total acumulado, hasta que, al procederse a la entrega del agua a la última propiedad y contabilizar la última demora, este tiempo total cierra con el tiempo de turno respectivo. Usando un ejemplo anterior, si el tiempo de turno total es de 8 días y 4 horas, el tiempo total acumulado debe cerrar a las 11.760 minutos.

Existen otros modelos de planillas o "Cronogramas de Turno" en los cuales, este proceso secuenciado se presenta en función de hora calendario, día etcétera.

Al respecto, cabe recomendar como planilla complementaria de la anterior, el cronograma de turno de entrega que se muestra al Cuadro N° 51 donde cada propiedad o regante se ubica en las columnas 5, 6, y 7, dentro del año agrícola y con respecto al mes, el día y la hora.

Ello significa que, si se inicia la confección de esta planilla, dentro de la unidad básica de riego, a partir del principio del período (el 1° de agosto pongamos por caso), se cuenta con un documento en el cual se conoce con anticipación, para todo el período o año agrícola, el momento del riego de cada propiedad, conociendo previamente la superficie parciales de cultivos.

Esta utilísima planilla se deja de confeccionar en un gran número de distritos, en razón de lo laborioso de su confección, pero cabe recordar que este diagramado se lleva a cabo una sola vez en el período y ya actúa como elemento de base para la función tiempo, lo que es muy útil.

10.6. Planilla de Turno de riego por Propiedad o Regante

Complementando el concepto anterior, y, en conocimiento cada regante de su turno respectivo dentro de la unidad básica de distribución y entrega, se elabora la planilla que permite obrar a cada regante de por sí y contar con la información de trabajo.

De acuerdo al esquema que se muestra en el Cuadro N° 52, para cada mes, el regante consignará las siguientes informaciones:

- Día y hora en que principia su turno (en el mes generalmente entre de 3 a 4 turnos, de aquí que cada mes tiene entre 3 a 5 renglones a llenar)
- Día y hora en que termina o concluye su turno de riego.

Esta planilla es de confección común en vasta áreas regadas que se manejan por turnado, como las quinientas mil hectáreas, con seis ríos o macro-distritos regados, de la zona de Mendoza, Argentina, para citar un ejemplo de aplicación masiva.

Una vez confeccionada por el técnico a cargo de la propiedad, regante u operario según las características del predio, esta planilla es avalada por la autoridad respectiva, ya sea el Administrador de Riego, Inspector de Cauce o Intendente de Aguas.

BIBLIOGRAFIA

1. BURGOS, J.J. y VIDAL, A.L. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. Buenos Aires, 1951.
2. CORNEJO, A. T. El riego en el Perú. Lima, CENDRET-UNA, 1972.
3. CRIDDLE, W.D. Use of Irrigation Requirements. USA, Journal of Soil and Water Conservation, vol. 8 N° 5, 1953.
4. CHANG NAVARRO, L. y CORNEJO, A. Funciones de producción de agua de riego de los principales cultivos de la costa peruana. Lima, Instituto para el Desarrollo de los Recursos de Agua y Tierras de la Fundación para el Desarrollo Nacional, Año II N° 5, 1972.
5. DIRECCION GENERAL DE AGUAS E INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. Pautas secuenciales previas para la operación de los distritos. Lima, Ministerio de Agricultura e IICA, 1974.
6. ESPINOSA, V.E. Los distritos de riego. México, Continental, 1962.
7. GRASSI, C.J. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1968.
8. HAGAN, R.N., HAISE, H. and EDMINSTER, T. Irrigation of Agricultural Land. USA, Amer. Soc. Agronomy, N° 11, Serie Agronomy, 1969.
9. ISRAELSEN, O.W. and HANSEN, V.E. Principios y aplicaciones del riego 2a. ed. México, Reverté, 1965.
10. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. and PAULHUS, J.L. Hydrology for Engineers. New York, McGraw-Hill, 1958.
11. LINSLEY, R.K. and FRANZINI, J.B. Water Resources Engineering. New York, McGraw-Hill, 1964.
12. LUQUE, J.A. Agricultura bajo riego. Buenos Aires, Editorial Riagro, 1956.
13. . Necesidades de agua y bases para la determinación del uso consuntivo en Pedro Luro. Bahía Blanca, Argentina, Instituto de Edafología de la UNS, N° 7. 1965.

14. _____ . Uso consuntivo en explotaciones en el Valle Bereareense del Rto Colorado, Bahía Blanca, Instituto de Edafología e Hidrología UNS, N° 8, 1966.
15. _____ . Caracterización del Rto Colorado con fines de riego. Bahía Blanca, CECIRNA, UNS, Bol. 1, 1967.
16. _____ . Procedimiento para el cálculo de lámina de riego. Guía de Riego, Bahía Blanca, Departamento de Ingeniería, UNS, N° 1, 1967.
17. _____ . Aplicación del método Blanney y Driddle ajustado para la determinación del uso consuntivo, lámina neta y requerimiento de riego en el País. Buenos Aires, Argentina, Revista IDIA N° 266, 1969.
18. _____ . Técnicas de programación y análisis de ingeniería. Bahía Blanca Editorial Riego, 1969.
19. _____ . Planteo secuencial de la operación de riego para la distribución y entrega y administración del agua, Lima, IICA, Zona Andina, 1975.
20. LUQUE, J.A. y PAOLONI, J.D. Estudio de las dotaciones de riego y demanda de agua para el Valle inferior del Rto Colorado. Buenos Aires, CORFO-Pedro Luro, 1969.
21. _____ . Manual de Operación de Riego. 2a ed. Buenos Aires, Editorial Riego, 1974.
22. LUQUE, J.A., PAOLONI, J.D. y DELL'ORO, B.J. Modelos operacionales para riego. Rto Negro, Argentina, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Minería, IDEVI, 1973.
23. LUQUE, J.A., GUTIERREZ, A.U. y PAOLONI, J.D. Requerimientos de agua y uso consuntivo en explotaciones de la Provincia de Rto Negro Viedma, Argentina, Publicación Técnica de la Subsecretaría de Asuntos Agrarios de la Pcia. de Rto Negro. 1970.
24. MINISTERIO DE AGRICULTURA. DIRECCION GENERAL DE AGUAS. Normativo para la formulación de los planes de cultivo y riego Lima, Ministerio de Agricultura, 1973.
25. MINISTERIO DE AGRICULTURA. ZONA AGRARIA II. Administración técnica del distrito de riego Chiclayo. Antecedentes para la distribución de las Aguas. Lambayeque, Perú, Ministerio de Agricultura, 1974.

26. PALACIOS, E. Cuanto, Cuando y como regar. México. Men. Tec. N° 195 SRH, 1963.
27. PAOLONI, J.D. y LUQUE, J.A. Proceso secuencial de la operación de riego hasta nivel de parcela. Buenos Aires, In VII Congreso Nacional de Agua, 1975.
28. POIREE, M. et al. El regadío. Barcelona, Editorial Técnicos Asociados, 1965.
29. RICHARDS, L.A. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Manual de Agricultura. N° 60, 1962.
30. ROMANELLA, C.A. Dotaciones de riego calculadas para el Mendoza. Mendoza, Argentina. Memoria del Departamento General de Irrigación, 1960.
31. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS DE MEXICO. Metodología para la determinación y cálculo de uso consuntivo del agua. México, Memorándums Técnico N° 290, 1963.
32. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. Relación entre suelo-planta-agua. México, Editora Diana, 1972.
33. SHOCKLEY, D.R. Capacity as Soil to Hold Moisture. USA, Agricultural Engineering, vol. 35, N° 2, 1955.
34. SOIL CONSERVATION SERVICE-USA. Irrigation. Washington D.C. 1967.
35. SOIL CONSERVATION SERVICE-USDA. Instructions and criterio for preparation on irrigation guides. Oregon, 1957.
36. THORNTWAITE, C.W. The climates of North America according to a new classification USA, The Geographical review, 1931.
37. _____ . El agua en la agricultura. México, Irrigación en México, 1946.
38. _____ . An approach toward a rational classification of climate. USA, Geographical Review.
39. TOPOLANSKI, E.M. Arroz y riego. Montevideo, Uruguay, Instituto Nacional de Colonización, 1966.
40. THORNE, D.W. and PETERSON, H.B. Técnica de riego. México, Editorial Continental, 1969.