



DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Facultad de Ingeniería

CONSUMOS DE AGUA POTABLE
EN LA REPUBLICA MEXICANA

JOSE MANUEL RODRIGUEZ VARELA

TESIS

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERIA
(HIDRAULICA)**

ASESOR: DR. FELIPE I. ARREGUIN CORTES

CIUDAD UNIVERSITARIA

1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

UNAM



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres, por todo el apoyo que me han brindado.

A mis hermanos, en especial a Toño en donde quiera que esté.

A mis sobrinos, por ser un motivo para seguir adelante.

A Patricia, por su apoyo y compañía en todo momento.

A mis amigos, especialmente a Salvador y V. Hugo.

A mis maestros, especialmente al Ing. Horacio Rubio Vega, quien motivó en mí el interés por la hidráulica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al DR. FELIPE I. ARREGUÍN CORTÉS, director de este trabajo por sus aclaraciones, sugerencias y correcciones.

A mis sinodales: DR. POLIOPTRO MARTÍNEZ AUSTRIA, DR. NAHUN HAMED GARCÍA VILLANUEVA, DR. ÁLVARO MUÑOZ MENDOZA, M. I. VÍCTOR BOURGUETT ORTIZ, por la revisión y comentarios realizados a este trabajo.

Al M. I. LEONEL OCHOA ALEJO y al M. C. MARIO BUENFIL RODRÍGUEZ, que de manera desinteresada hicieron comentarios y sugerencias para la realización del trabajo en general.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por la formación recibida.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Comisión Nacional del Agua, por el apoyo brindado.

Índice general

Introducción

1 Conceptos generales	1
1.1 Consumo	1
1.1.1 Consumo doméstico	1
1.1.2 Consumo no doméstico	2
1.1.3 Consumo total	3
1.2 Pérdidas físicas	3
1.3 Demanda	4
1.4 Dotación	5
1.5 Coeficientes de variación	5
1.6 Gastos de diseño	6
1.6.1 Gasto medio diario	6
1.6.2 Gastos máximo diario y horario	6
2 Factores que afectan el consumo	8
2.1 Condiciones climáticas	8
2.2 Tamaño de la población	8
2.3 Nivel socioeconómico	9
2.4 Efectos del alcantarillado	10
2.5 Industrias y comercios	10
2.6 Efectos de la medición	11
2.7 Precio del agua	13
2.7.1 Elasticidad de la demanda con el precio del agua	13
2.8 Influencia del ingreso per cápita sobre la demanda	14
2.9 Determinantes de la demanda de agua	15
2.10 Variaciones del consumo	16
2.11 Diseños basados en la demanda	17
3 Metodología para la obtención de consumos en campo	18
3.1 Objetivos de los distritos hidrométricos	18
3.2 Consideraciones para la selección de los distritos hidrométricos	19
3.2.1 Aplicación de la técnica de distritos hidrométricos	19
3.2.2 Equipo de medición	20
3.3 Determinación del tamaño del distrito hidrométrico	23
3.4 Tamaño de la muestra	27
3.4.1 Selección aleatoria de una muestra pequeña	28
3.5 Selección de las ciudades	28
4 Mediciones de campo	29
4.1 Información de campo por clase socioeconómica	29
4.1.1 Medición de consumos per cápita	29
4.1.2 Información sobre precio del agua	30
4.1.3 Tipo de servicio	30
4.1.4 Datos de temperatura media	30
4.1.5 Porcentaje de micromedición en el sistema	31

4.2 Consumos de agua potable para zonas urbanas	35
4.2.1 Consumo promedio per cápita por clase social	35
4.2.2 Consumo doméstico per cápita por tipo de clima y clase social	35
4.2.3 Consumo doméstico de clase social contra el precio del agua	36
4.2.4 Consumo per cápita de clase social contra porcentaje de micromedición	36
4.2.5 Consumo doméstico contra tipo de servicio por clase social	37
5. Análisis del consumo	38
5.1 <i>Relación del consumo con las diferentes variables</i>	38
5.1.1 Temperatura	38
5.1.2 Precio del agua	41
5.1.3 Micromedición	43
5.1.4 Consumo de agua por tipo de servicio	45
5.1.5 Clase socioeconómica	46
5.1.6 Población	49
5.1.7 Tomas domiciliarias	50
5.2 <i>Análisis de varianza de las variables</i>	51
5.3 <i>Modelos multivariados de consumo de agua</i>	59
5.3.1 Modelo de consumo de agua para clase baja	59
5.3.2 Modelo de consumo de agua para clase media	62
5.3.3 Modelo de consumo de agua para clase alta	65
5.4 <i>Análisis de sensibilidad del consumo</i>	68
5.4.1 Precio del agua	68
5.4.2 Porcentaje de micromedición	69
5.4.3 Temperatura	70
5.4.4 Tipo de servicio	71
6. Variación de la demanda	73
6.1 <i>Coefficientes de variación</i>	73
6.1.1 Cálculo del coeficiente de variación horaria	73
6.1.2 Cálculo del coeficiente de variación diaria	75
6.2 <i>Valores de los coeficientes de variación</i>	76
7. Conclusiones y recomendaciones	80
7.1 <i>Conclusiones</i>	80
7.1.1 Estimación de la muestra	80
7.1.2 Consumos	80
7.1.3 Análisis de varianza	80
7.1.4 Modelos de consumo	81
7.1.5 Coeficientes de variación	81
7.2 <i>Recomendaciones</i>	82
Referencia	83
Anexo.	86

Índice de láminas

3.1	Equipo de pitometría con manómetro diferencial	20
3.2	Montaje del equipo de pitometría	21
3.3	Máquina insercionadora Müeller	22
3.4	Distrito hidrométrico típico	22
5.1	Consumo por clase alta contra temperatura	39
5.2	Consumo por clase media contra temperatura	39
5.3	Consumo por clase baja contra temperatura	40
5.4	Consumo ponderado contra temperatura	40
5.5	Consumo de clase alta contra precio del agua	41
5.6	Consumo de clase media contra precio del agua	42
5.7	Consumo de clase baja contra precio del agua	42
5.8	Consumo ponderado contra precio del agua	43
5.9	Consumo de clase alta contra porcentaje de micromedición	44
5.10	Consumo de clase media contra porcentaje de micromedición	44
5.11	Consumo de clase baja contra porcentaje de micromedición	45
5.12	Consumo ponderado contra porcentaje de micromedición promedio	45
5.13	Consumo de agua por tipo de servicio	46
5.14	Consumo ponderado contra porcentaje de población de clase alta	47
5.15	Consumo ponderado contra porcentaje de población de clase media	48
5.16	Consumo ponderado contra porcentaje de población de clase baja	48
5.17	Consumo ponderado contra tamaño de población	49
5.18	Consumo de clase social contra tamaño de población	49
5.19	Consumo ponderado contra tomas domiciliarias	50
5.20	Consumo de clase social contra tomas domiciliarias	50
5.21	Consumo real contra consumo calculado de la clase baja	60
5.22	Consumo real contra consumo calculado de la clase media	63
5.23	Consumo real contra consumo calculado de la clase alta	66
5.24	Variación del consumo (%) contra el precio del agua (%)	68
5.25	Variación del consumo (%) contra la micromedición (%)	69
5.26	Variación del consumo (%) contra la temperatura (%)	70
5.27	Variación del consumo (%) contra el tipo de servicio	71

Índice de tablas

1.1 Tipos de usuarios domésticos	2
1.2 Gastos de diseño para estructuras de agua potables y alcantarillado	7
2.1 Consumos para producción de algunos tipos de industrias	11
2.2 Efectos de la medición en el consumo (l/h/d)	12
2.3 Elasticidad de la demanda de agua según los ingresos	15
2.4 Incremento o decremento de la demanda	15
3.1 Tamaños de los distritos hidrométricos por clase social	25
4.1 Datos de consumo por clase social y consumo ponderado	31
4.2 Datos de temperatura y precio del agua por clase social	32
4.3 Micromedición y tipo de servicio por clase social	33
4.4 Porcentaje de población por clase social, tamaño de población y tomas domiciliarias	34
4.5 Consumo promedio per cápita Nacional	35
4.6 Consumo doméstico per cápita por tipo de clima y clase social	35
4.7 Clasificación de climas por su temperatura	36
4.8 Consumo per cápita contra precio del agua	36
4.9 Consumo per cápita contra porcentaje de micromedición	36
4.10 Consumo per cápita contra tipo de servicio y clase social	37
5.1 Análisis de regresión de consumo per cápita contra temperatura	38
5.2 Análisis de regresión de consumo per cápita contra precio del agua	41
5.3 Análisis de regresión de consumo per cápita contra porcentaje de micromedición	43
5.4 Análisis de regresión de consumo per cápita contra tipo de servicio	46
5.5 Análisis de regresión de consumo per cápita contra porcentaje de población por clase social	47
5.6 Análisis de varianza (ANOVA)	51
5.7 Coeficientes de correlación (clase alta)	52
5.8 Análisis de varianza para precio del agua	53
5.9 Análisis de varianza para temperatura	53
5.10 Análisis de varianza para porcentaje de micromedición	53
5.11 Análisis de varianza para tipo de servicio	54
5.12 Análisis de varianza para Precio del agua - micromedición	54
5.13 Análisis de varianza para Precio del agua - Temperatura	54
5.14 Análisis de varianza para Precio del agua - tipo de servicio	55
5.15 Análisis de varianza para Precio del agua - Micromedición - Temperatura	55
5.16 Análisis de varianza para Precio del agua - Micromedición - Tipo de servicio	55
5.17 Análisis de varianza para Precio del agua - Micromedición - Temperatura - Tipo de servicio	56
5.18 Resumen de las F calculadas para las diferentes variables y sus combinaciones (clase alta)	56
5.19 Resumen de las F calculadas para las diferentes variables y sus combinaciones (clase media)	57

5.20 Resumen de las F calculadas para las diferentes variables y sus combinaciones (clase baja)	57
5.21 Coeficientes b _i para el modelo de clase baja	59
5.22 Diferencia entre el consumo real y el calculado (clase baja)	61
5.23 Coeficientes b _i para el modelo de clase media	62
5.24 Diferencia entre el consumo real y el calculado (clase media)	64
5.25 Coeficientes b _i para el modelo de clase alta	65
5.26 Diferencia entre el consumo real y el calculado (clase alta)	67
5.27 Variación del consumo (%) contra el precio del agua (%) por clase social .	69
5.28 Variación del consumo (%) contra el porcentaje de micromedición	70
5.29 Variación del consumo (%) contra la temperatura	71
5.30 Variación del consumo (%) contra el tipo de servicio	72
6.1 Coeficientes de variación horaria por región climática	77
6.2 Coeficiente de variación diaria por región climática	77
6.3 Coeficiente de variación horaria por clase socioeconómica	78
6.4 Coeficiente de variación diaria por clase socioeconómica	78
6.5 Coeficientes de variación horaria por clase socioeconómica y región climática.	78
6.6 Coeficientes de variación diaria por clase socioeconómica y región climática.	79

Introducción

La planeación y diseño de proyectos de infraestructura en el Sector Agua debe estar basada en información confiable, preferentemente respaldada y validada por trabajos de campo, logrando con esto una adecuada justificación y garantía en la toma de decisiones para la planeación y utilización de los recursos tanto fiscales como privados que se invierten en este tipo de proyecto. En los hechos, una de las áreas de mayor rezago del sector, en lo que respecta a información de campo, es la relacionada con la cuantificación del consumo de agua potable.

Un ejemplo muy claro es la estimación de la demanda actual y futura de agua potable, que se hace utilizando procedimientos muy sencillos, que consisten en multiplicar la población prevista por el consumo per cápita actual o futuro. Dicho método pasa por alto factores de primordial importancia como: precio del agua; porcentaje de medición, la clase social, etc., lo anterior provoca una estimación incorrecta de la demanda de agua, lo que trae como consecuencia una gran incertidumbre en el diseño de las obras (ref. 39).

En México no se ha alcanzado un buen nivel de análisis y discernimiento de la información, ya que sólo se dispone de una tabla sobre dotaciones para diferentes rangos de población (ref. 36), que se aplica en todo el país, sin mayor análisis, por carecer de mejores elementos de información. Este procedimiento se sigue aplicando a la fecha, ya que no se ha desarrollado un estudio sobre el tema que conduzca hacia la obtención de valores que estén respaldados con mediciones de campo.

En este trabajo se propone la metodología para obtener información de campo sobre consumos y variaciones de la demanda; se presenta el análisis de los factores que afectan los consumos de agua potable de varias ciudades de la República Mexicana, así como, la relación que existe entre éstos (clase social, tipo de servicio, precio del agua, etc).

El trabajo está estructurado de la siguiente manera:

El capítulo I presenta algunos conceptos generales sobre consumo, demanda y dotación.

En el capítulo II se detallan los diversos factores que afectan el consumo de agua, entre los que destacan el precio del agua, los ingresos per cápita, el clima, etc.

El capítulo III describe la metodología utilizada para llevar a cabo el estudio, esto es planeación e implementación de los distritos hidrométricos; equipo utilizado para las mediciones de las variaciones de la demanda en los distritos de control; el muestreo utilizado para seleccionar el tamaño del distrito hidrométrico (para obtener las variaciones de la demanda) y el tamaño de la muestra (para obtener el consumo per cápita), y las ciudades seleccionadas.

El capítulo IV presenta la información obtenida de las mediciones de consumos per cápita, e información sobre precio del agua, porcentaje de micromedición, tipo de servicio, temperatura media de las ciudades; se obtienen algunas estadísticas de consumo por clase social y clima, donde se tiene que los consumos per cápita mayores se presentan para clima cálido y clase alta con 400 l/hab/d, clase media con 230 l/hab/d y clase baja con 185 l/hab/d.

El capítulo V se da un análisis del consumo como función de diversos factores por separado, se determina que no es conveniente estimar el consumo sólo en función de uno de los factores ya que presenta coeficientes de correlación bajos (r^2 menores de 0.5); mediante un análisis de varianza, se obtiene el factor de mayor significancia sobre el consumo para cada clase social, así como su interacción sobre éste, y finalmente se desarrolla un modelo de correlación múltiple para el cálculo del consumo, en base a los coeficientes b_i del modelo se puede determinar la variación del consumo cuando uno de los factores (precio del agua, porcentaje de micromedición, temperatura, tipo de servicio) sufre un incremento o decremento.

El capítulo VI se hace el cálculo de los coeficientes de variación diaria y horaria obtenidos de las mediciones de la variación de la demanda realizadas en los distritos hidrométricos, el coeficiente de variación diaria promedio es de 1.42 y el coeficiente de variación horaria de 1.55.

En el capítulo VII se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

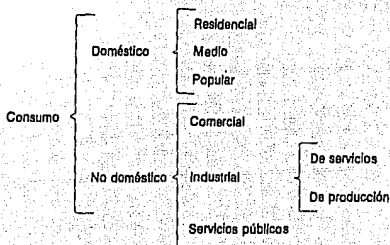
Capítulo 1. Conceptos generales.

El diseño de un sistema de abastecimiento de agua parte del valor de la dotación de agua a la población, se mide en l/hab/d. Ésta es una variable que se compone del consumo más las pérdidas físicas, variables que dependen de numerosos factores. En este capítulo se define cada una de estas variables y se establece un procedimiento para su determinación.

1.1 Consumo

El consumo es la parte del suministro de agua potable que utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se expresa en unidades de m³/día o l/día, o bien cuando se trata de consumo *per cápita* se utiliza l/hab/día.

El consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no-doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en residencial, medio y popular (tabla 1.1). El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos; a su vez, el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción (fábricas), esta clasificación se resume en el siguiente diagrama:



1.1.1 Consumo doméstico

Se refiere al agua usada en las viviendas. Este consumo varía principalmente con las condiciones climáticas que prevalecen en la población servida y los distintos niveles socioeconómicos de ésta (ref. 1). No obstante, se han identificado algunas otras causas como presión de la red, el costo del agua, la cantidad de agua disponible y la existencia de alcantarillado, entre otras (ref. 4). En la tabla 1.1 se presenta una descripción de los distintos tipos de usuarios domésticos.

Tabla 1.1. Tipos de usuarios domésticos (ref. 2 y 4).

CLASE SOCIOECONÓMICA	DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE VIVIENDA
Residencial	Casas solas o departamentos de lujo, que cuentan con dos o más baños, jardín de 50 m ² o más, cisterna, lavadora.
Media	Casas y departamentos, que cuentan con uno o dos baños, jardín de 15 a 35 m ² y tinaco.
Popular	Vecindades y casas habitadas por una o varias familias, que cuentan con jardín de 2 a 8 m ² , con un baño o compartiéndolo.

1.1.2 Consumo no-doméstico

Consumo Comercial

Es el consumo de agua que se utiliza en predios de vocación comercial, por las personas que trabajan ahí, pero que no habitan en dichos predios.

De acuerdo al tipo de actividad comercial del consumidor, se ha encontrado que los rangos de consumo varían de 10 a 300 l/empleador/día, y en algunos comercios de servicio de lavandería de 950 a 1900 l/máquina/día (ref. 3 y 4).

Consumo Industrial

Este consumo lo constituye el agua de uso para empresas, fábricas y hoteles; se determina en función del tipo de industria.

Considerando el tipo de actividad industrial el consumo se divide en dos tipos: a) Industrial de servicios y, b) Industrial de producción. En el primero se consideran los hoteles y centros recreativos, con rangos de consumo de 400 a 2000 l/cuarto/día y los segundos, de acuerdo al tipo de industria, son de 30 a 100 l/trabajador/día (ref 3).

Usos Públicos

Se utiliza para riego de parques y jardines, combate de incendios, usos recreativos y de ornato. En pequeñas localidades, salvo casos especiales, se considera innecesario proyectar sistemas de abastecimiento de agua potable que incluyan protección contra incendios. En localidades medianas o grandes, el problema debe ser estudiado y justificado en cada caso, de acuerdo con las características particulares y en coordinación con el H. Cuerpo de Bomberos.

1.1.3 Consumo total

El consumo total será la suma de los consumos anteriores (ec 1.1). Conforme a la literatura sobre el tema éstos varían ampliamente (ref. 13, 14), de tal suerte que es recomendable estudiarlos para los diferentes usos en forma particular.

$$C_T = C_r + C_m + C_p + C_c + C_i + C_p \quad (1.1)$$

Donde:

C_T = Consumo total (m^3/d)

C_r = Consumo de la clase residencial (m^3/d)

C_m = Consumo de la clase media (m^3/d)

C_b = Consumo de la clase popular (m^3/d)

C_c = Consumo comercial (m^3/d día)

C_i = Consumo industrial (m^3/d día)

C_p = Consumo público (m^3/d día)

1.2 Pérdidas físicas

Otro término que se debe tener en cuenta para el cálculo de la demanda es el de las pérdidas de agua.

Las pérdidas físicas se refieren al agua que se escapa por fugas en líneas de conducción, tanques, red de distribución, y tomas domiciliarias.

Conforme a un estudio de campo (ref. 5), se ha definido que estas pérdidas se determinan a partir de muestreos de inspección y aforo (fugas en tomas domiciliarias); de medición en sectores controlados, llamados distritos hidrométricos (fugas en tuberías principales y secundarias y pérdidas por tomas clandestinas); y de verificación de un grupo de micromedidores domiciliarios (pérdidas por inadecuada medición).

El volumen diario de pérdidas físicas, V_p , se obtiene con la ecuación 1.2.

$$V_p = V_{fr} + V_{tc} \quad (1.2)$$

Donde:

V_p = Volumen de pérdidas, en m^3 .

V_{fr} = Volumen de fugas en red, en m^3 .

V_{tc} = Volumen de fugas en tomas domiciliarias, en m^3 .

Las pérdidas de agua dependen de factores tales como: la presión de trabajo, la calidad de la tubería y los accesorios, el proceso constructivo, el tipo de material, la antigüedad de los elementos del sistema y el mantenimiento preventivo y correctivo que se practique a los elementos del sistema (ref. 6).

Para el cálculo de las pérdidas físicas, se debe considerar un valor promedio del volumen diario, obtenido de acuerdo a una o varias localidades similares en cuanto a nivel socioeconómico, tamaño de población, ocurrencia de fugas, etc., que ya dispongan de un estudio (ref. 6)

En caso de no disponer de información, para la República Mexicana se puede considerar un valor promedio del 38% del volumen suministrado, que es el resultado del estudio de campo ya citado.

1.3 Demanda

Se entiende por demanda a la suma de los consumos para cada tipo de usuario más las pérdidas físicas, usualmente se obtiene en ($m^3/día$) como:

$$D_i = \frac{C_{T_i}}{\left(\frac{100 - V_{P_i}}{100} \right)} \quad (1.3)$$

Donde:

D_i = Demanda estimada en el año i en ($m^3/día$).

C_{T_i} = Consumo total en el año i en (m^3/d).

V_{P_i} = Pérdidas de agua en el año i en (%).

Para efectos de diseño es importante tener una estimación de la demanda a futuro, ésta se realiza con base en los consumos de las diferentes zonas socioeconómicas, la actividad comercial, industrial y turística, para esto deberán considerarse las tendencias de crecimiento histórico, los censos económicos o proyectos de desarrollo, del sector público o de la iniciativa privada, y se aplicarán los consumos de cada sector a las proyecciones correspondientes.

1.4 Dotación

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, se obtiene a partir de la demanda de agua; sus unidades están dadas en l/hab/día.

$$D_o = \frac{1000D_i}{hab} \quad (1.4)$$

Donde:

D_o = Dotación de agua en l/hab/d

D_i = Demanda de agua en m³/d

hab = Número de habitantes

1.5 Coeficientes de variación

Los requerimientos de agua para un sistema de distribución no son constantes durante el año, ni el día, sino que la demanda y el consumo varían en forma diaria e incluso horaria. Debido a la importancia de estas fluctuaciones, se acostumbra calcular los gastos *máximo diario* y *máximo horario*, los cuales se determinan multiplicando el coeficiente de variación diaria por el gasto medio diario y el coeficiente de variación horaria por el gasto máximo diario respectivamente. La tabla 1.2 muestra los gastos utilizados para el diseño de las estructuras en los sistemas de agua potable.

Los coeficientes de variación estiman las fluctuaciones que experimenta la demanda por efecto de las condiciones climáticas, los días laborables y otras actividades.

1.6 Gastos de diseño

1.6.1 Gasto medio diario

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio. Y se calcula con el valor de la dotación al final del período de diseño.

El gasto medio diario se calcula con la ecuación 1.4.

$$Q_{med} = \frac{D_o \cdot P}{86,400} \quad (1.5)$$

Donde:

Q_{med} = Gasto medio diario, en l/s.

D_o = Dotación, en l/hab/día.

P = Número de habitantes.

1.6.2 Gastos máximos diario y horario

Los gastos máximo diario y máximo horario, son los requeridos para satisfacer las necesidades de la población en el día de máximo consumo, y en la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente.

Los gastos máximo diario y máximo horario se obtienen a partir del gasto medio con las expresiones 1.5 y 1.6:

$$Q_{Md} = CV_d \cdot Q_{med} \quad (1.6)$$

$$Q_{Mh} = CV_h \cdot Q_{Md} \quad (1.7)$$

Donde:

Q_{Md} = Gasto máximo diario, en l/s.

Q_{Mh} = Gasto máximo horario, en l/s.

CV_d = Coeficiente de variación diaria.

CV_h = Coeficiente de variación horaria.

Q_{med} = Gasto medio diario, en l/s.

Tabla 1.2. Gasto de diseño para estructuras de agua potable y alcantarillado (ref. 36 y 37).

TIPO DE ESTRUCTURA	DISEÑO CON GASTO MÁXIMO DIARIO	DISEÑO CON GASTO MÁXIMO HORARIO
Fuente de abastecimiento	X	
Obra de captación	X	
Conducción antes del tanque de regulación	X	
Tanque de regulación	X	
Alimentación a la red		X
Red de distribución		X

Capítulo 2. Factores que afectan el consumo

El mejor índice de evaluación de un proyecto de ampliación de un sistema de distribución, es la proyección del consumo, ya que indicará si dicha ampliación es prematura o no. Cuando es evidente una demanda sin atender, el riesgo y los costos son pequeños, puesto que el incremento de la capacidad es necesario inmediatamente.

El promedio diario de consumo de agua por habitante varía de una ciudad a otra, un estudio reciente (ref. 2) en la República Mexicana estimó que el consumo oscila entre 100 a 300 l/hab/d, tales variaciones dependen de varios factores, entre ellos están la calidad del agua, el precio de ésta, el clima, características de la población, si el suministro es o no medido.

2.1 Condiciones climáticas

El consumo de agua potable se incrementa en clima cálido y disminuye conforme el clima se hace más frío. Esto se debe a que el ser humano transpira mayor cantidad de líquido y destina más agua para satisfacer necesidades de aseo, evaporación en recipientes, evapotranspiración de jardines y preparación de alimentos.

En las regiones áridas o donde los veranos son calurosos y secos, se empleará más agua de uso doméstico para el riego de jardines, mayor número de baños para higiene personal; mientras el consumo público vendrá afectado por un frecuente riego de los campos deportivos y jardines. También las altas temperaturas pueden conducir a un alto consumo de agua para climatización ambiental.

En un estudio realizado en varias ciudades del país (ref. 11) se encontró que para ciudades con clima templado el consumo variaba de 140 a 220 l/hab/d, para clima semicálido variaba de 160 a 280 l/hab/d y para clima cálido el consumo fue de 160 a 310 l/hab/d.

2.2 Tamaño de la población

El efecto de las dimensiones de la ciudad es, probablemente, indirecto. En ciudades grandes son de esperar consumos mayores de agua por habitante, esto se debe al hecho de que en ellas existe mayor infraestructura.

La ciudad pequeña es probable que tenga una zona insuficientemente servida, mayor en proporción que una ciudad grande, tanto de abastecimiento como de alcantarillado.

El uso de agua per cápita en una comunidad es afectada por el uso industrial, y las actividades industriales tienden a incrementarse más rápidamente que la población total. Es probable que los cambios de demanda de uso doméstico se incrementen lentamente con la población, pero la expansión industrial implica una tendencia de incremento rápido del consumo per cápita.

En un estudio realizado en varias ciudades del país, sobre consumos per cápita (ref. 11), se obtuvo una tendencia ascendente en el consumo conforme el tamaño de la población aumentaba de 50,000 a 800,000 habitantes con un incremento promedio de 50 l/hab/d.

La fórmula de Capen (ref. 13) para estimar el consumo per cápita en sistemas que tienen una buena medición es:

$$G = 204 P^{0.125} \quad (2.1)$$

donde

G = Litros per cápita por día

P = Población en miles

2.3 Nivel socioeconómico

Se ha encontrado que las variaciones en el consumo dependen en parte del nivel socioeconómico de los consumidores, y diferirán en gran manera según las distintas zonas de la ciudad. En los distritos residenciales de una ciudad, se prevé un mayor consumo, ya que a la demanda ordinaria doméstica habrá de añadirse la necesaria para el riego del césped, por lo tanto, el consumo de agua por habitante será alto (ref. 2), entre 300 a 400 l/hab/d.

La clase socioeconómica baja presentará normalmente un consumo mínimo promedio de aproximadamente 130 l/hab/d, pero se han registrado consumos tan bajos de hasta sólo 65 l/hab/d. Las cifras más bajas se encontrarán en las colonias populares donde no se dispone de alcantarillado y donde quizás un solo grifo sirve para una o más viviendas (ref. 2).

Hidalgo y Ochoa (ref. 1) presentan un análisis de consumos per cápita contra porcentaje de población de clase baja, los autores establecen en que un incremento en el porcentaje de población de clase baja de 18 % al 64 %, produce una disminución del consumo per cápita de 276 a 160 l/hab/d.

Murdock et al. (ref. 39) llevaron a cabo un estudio en 677 ciudades del estado de Texas; seleccionaron una muestra aleatoria de 100 usuarios en cada ciudad. Un análisis de los datos demostró que el uso de agua per cápita estaba relacionado con el porcentaje de población que es blanca y el porcentaje que es hispana, los ingresos per cápita y el porcentaje de la población que usa sistema de agua público.

2.4 Efectos del alcantarillado

La existencia o ausencia de alcantarillado, tiene considerable efecto. Conforme a Steel y McGhee (ref. 13), en las viviendas sin alcantarillado el consumo de agua raramente excederá de los 40 l/hab/d, mientras en el promedio de las que lo tienen, es de aproximadamente de 300 l/hab/d. La ampliación de la red de alcantarillado, puede por tanto, requerir un suministro adicional de agua. Este incremento llega a ser de 50 a 100%, cuando se instala alcantarillado.

2.5 Industrias y comercios

La presencia de industrias en una ciudad tiene un gran efecto sobre el consumo per cápita y total, cuando el consumo doméstico es relativamente pequeño, la diferencia entre éste y el total de agua consumida se debe a los usos industriales y las pérdidas. Como el volumen de industrias no tiene relación directa con la cantidad de población, debe tenerse cuidado, cuando se estima el consumo presente o futuro en una parte restringida de la ciudad.

La predicción debe considerar las industrias existentes en la sección, su consumo de agua actual y la probabilidad de establecimiento de más industrias en las cercanías. Una distribución de la ciudad en zonas permitirá prever el consumo futuro por distritos con mayor exactitud. Es muy común para ciertos procesos industriales el empleo de suministros auxiliares de agua, frecuentemente sin tratar. Esto disminuye el consumo de agua para abastecimiento municipal.

En estudios realizados en diversas industrias (ref. 3), se determinaron los rangos de consumo según su producción, estos consumos se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Consumos para producción de algunos tipos de industrias (ref. 3)

Industria	Rango de consumo (m ³ /día)
Azucarera	4.5 - 6.5
Química (a)	5.0 - 25.0
Papel y celulosa (b)	40.0 - 70.0
Bebidas (c)	6.0 - 17.0
Textil	62.0 - 97.0
Siderúrgica	5.0 - 9.0
Alimentos (d)	4.0 - 5.0

Notas:

- a) Variable de acuerdo al producto
- b) Se indican sólo los índices de celulosa
- c) Se tomó como representativa la cerveza
- d) Se tomó como representativos los alimentos lácteos

En el consumo comercial se incluye el de los edificios destinados a oficinas, lavanderías, mercados y cines. Aunque depende en gran medida del número de individuos que trabajan en los negocios, no debe estimarse sobre la base de los trabajadores en tales distritos, pues el número de éstos puede ser muy reducido. Hay pocas cifras, y las que hay son ampliamente divergentes, acerca del consumo de agua en zonas comerciales, y si se desea determinar el consumo de uno de estos distritos deberán llevarse a cabo mediciones especiales.

Estudios realizados en varias zonas comerciales por el Departamento del Distrito Federal (ref. 3), indican que en zonas de la ciudad con alta densidad de comercios, el consumo de agua puede alcanzar hasta 94 000 m³/Km² por día.

2.6 Efectos de la medición

Todo Organismo Operador de agua debe disponer de medios adecuados para medir toda el agua entregada a la ciudad. Si los medidores son de tipo registrador podrá obtenerse información acerca de la distribución horaria del consumo.

La medición de los servicios consiste en colocar un medidor registrador en la tubería que va desde el tramo principal a la zona servida. Al usuario se les carga entonces, la cantidad de agua consumida. La distribución y tratamiento del agua representan un costo, derrocharla significa aumentar el costo unitario de la que ha de ser distribuida entre los consumidores. Es difícil establecer un buen sistema de tarifas del agua si no está basado en estadísticas obtenidas de una adecuada medición del consumo.

La falta de un servicio de medición volumétrica y el consecuente cobro de los volúmenes consumidos tiene un efecto determinante sobre el consumo de agua; la instalación de micromedidores puede reducir de tal manera el consumo, que la provisión de más agua pueda aplazarse indefinidamente. La comparación de las cifras en 22 ciudades de los Estados Unidos en las que la medición abarca el 90 % del suministro, con 13 ciudades del mismo país con el 20 % (ref. 13), mostró que el primer grupo tenía un consumo medio de 366 litros, y el último 825 litros todas estas ciudades tenían unos 100 mil habitantes.

En la tabla 2.2 se presentan los efectos de la medición en el uso del agua, que se presentó en varias ciudades de los Estados Unidos de 5 mil a 100 mil habitantes (ref. 14).

Tabla 2.2. Efectos de la medición en el consumo (l/hab/d)

Población (miles)	Medición (%)			
	0 - 50	51 - 95	95 - 99	100
5 - 10	688	469	462	450
10 - 25	715	488	454	481
25 - 50	791	496	466	484
50 - 100	734	519	462	454
más de 100	643	587	564	519

Medir y cobrar el volumen de agua consumido a todos los usuarios de una ciudad reduce el consumo en 50% respecto al caso de no disponer micromedidores (ref. 13). La reducción de consumo se debe principalmente a que los usuarios se ven obligados a pagar por el volumen de agua que realmente consumen. Si bien la medición reduce el consumo del agua este tiende a aumentar gradualmente, después que todos los usuarios tienen medidor (ref. 13).

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de la micromedición:

a) Ventajas de la medición:

- Es más justo, por que sólo se paga el volumen consumido.

- Las fugas son fáciles de encontrar, ya que existe un mejor control del volumen de agua que se entrega a cada zona de la ciudad.
- El gasto de agua residual puede reducirse y como consecuencia de esto se puede reducir los diámetros para el diseño del alcantarillado.

b) Desventajas:

- Alto costo por instalar, mantener y tomar lectura en los medidores.
- Pérdidas de presión a través del medidor son apreciables y aumenta los costos de bombeo.
- Puede ser más económico si se chequea por inspección que si se mide.

2.7 Precio del agua

El uso del agua se incrementa significativamente con la reducción en la tarifa del agua. La relación costo-uso del agua puede ser formulada como (ref. 14):

$$C = 21 - 10 \text{ Log } Q \quad (2.2)$$

Donde:

C = El costo del agua en dólares

Q = Gasto en galones por año

2.7.1 Elasticidad de la demanda con el precio del agua.

Se entiende por elasticidad a la variación que sufre la demanda de agua cuando se incrementa o disminuye el precio del agua (también se puede establecer la elasticidad en función de la variación de otras variables como: los ingresos per cápita, el porcentaje de medición, la densidad de población, la instalación del alcantarillado, etc.).

En diversos estudios se ha demostrado que la elasticidad de la demanda es una función del precio del agua y el ingreso per cápita (ref. 16, 17, 38, 40 y 41).

La elasticidad asociada al precio varía entre - 10 % a - 60 % (en el corto plazo). Esto significa que por cada aumento tarifario del 100 % cabe esperar que el consumo baje alrededor de un 10 % a un 60 %; en la ciudad de Sao Pablo se realizó un estudio sobre la elasticidad de la demanda de agua en función del precio obteniéndose como resultado un decremento del consumo de 45 % (ref. 16).

En investigaciones desarrolladas por Howe y Linaweaver (ref. 40) y por Weber (ref. 41), en los Estados Unidos, se determinaron varios modelos obtenidos por correlación múltiple, para predecir la demanda en función del precio del agua; se encontró una elasticidad en la demanda agua de -0.1 a -0.25.

Si bien tiene un costo social y político, el efecto del aumento de las tarifas, puede aplazar, reducir o eliminar inversiones a corto plazo; recurriendo para ello a un alza en las tarifas que reduzcan el consumo.

2.8 Influencia del ingreso per cápita sobre la demanda

La mayor parte de los estudios sobre la elasticidad de la demanda de agua a los precios han revelado que, a corto plazo, dicha elasticidad es más pronunciada en los grupos de ingresos más altos. Esto responde perfectamente al concepto económico de una curva de demanda descendente en la que las primeras unidades consumidas entrañan beneficios marginales muy elevados, que luego se reducen relativamente de prisa a medida que aumenta el consumo.

Dos estudios realizados en Bogotá y en Cartagena, Colombia (ref. 17), indicaron que la demanda en los grupos de población de menores ingresos pasaba en muchos casos a ser totalmente inelástica con el precio después de varios aumentos de tarifas. Cabría suponer que esos grupos de población habían economizado ya en el consumo de agua hasta tal punto que los aumentos de tarifas no producía ninguna baja de éste. Ello demuestra que es prudente adoptar una estructura de tarifas progresivas para ayudar a los económicamente desfavorecidos, penalizando al mismo tiempo a los consumidores importantes con tarifas muchos más elevadas que les induzcan a economizar agua.

Cuatro estudios presentados en la tabla 2.3. presentan el aumento relativo del consumo de agua debido a un incremento en los ingresos per cápita, es decir, la elasticidad de la demanda de agua según los ingresos.

Tabla 2.3. Elasticidad de la demanda de agua según los ingresos.

Elasticidad de la demanda de agua según los ingresos	Elasticidad calculada
- 38 ciudades de Africa, Asia y América Latina.	+ 0.33
- Isla de Penang, Malasia	de 0 a + 0.4
- 13 comunidades en Georgia (USA)	+ 0.33
- Zonas escogidas de Estados Unidos	+ 0.32
Promedio no ponderado de elasticidad a largo plazo por concepto de ingresos	+ 0.3

Estos datos parecen indicar que la elasticidad de la demanda por concepto de ingresos es de alrededor de 0,3, aunque esta cifra quizá no se mantenga para intervalos grandes en lo que respecta a ingresos. Para determinar el momento óptimo de las inversiones es probable que la elasticidad por ingresos no importe mucho, ya que lo probable es que los cambios de ingresos per cápita sean pequeños para periodos de tiempo cortos.

2.9 Determinantes de la demanda de agua.

En la tabla 2.4 se presenta la elasticidad de la demanda para diversos factores (ref. 38).

Tabla 2.4. Incremento o decremento de la demanda.

Factores	Porcentaje de incremento o decremento en la demanda.
Precio	- 0.2 a - 0.4
Ingresos	+ 0.3 a + 0.5
Tamaño de la casa	+ 0.2 a + 0.5
Densidad de población	- 0.4 a - 0.6
Temperatura	+ 0.7 a + 1.0
Precipitación	- 0.1 a - 0.3

Los porcentajes de incremento o decremento de la demanda de la tabla 2.3, representan las constantes de elasticidad de cada uno de los factores, cuando estos se incrementan un 100 %, es decir, si el precio del agua sufre un incremento del 100 % se espera una reducción del consumo de un 20 a un 40 %; estas constantes se obtuvieron de algunos estudios desarrollados en los Estados Unidos (ref. 38).

2.10 Variaciones del consumo

Hasta aquí, las cifras consignadas se basan en el consumo diario medio anual, aunque se debe tomar en cuenta que las condiciones climáticas, los días de trabajo, etc, tienden a causar amplias variaciones en el consumo de agua.

Esto nos da una idea de la importancia que tiene el conservar la información completa del volumen diario de agua suministrada en una ciudad y de las fluctuaciones de la demanda durante el día. Estos son los datos básicos que se requieren para poder planear las mejoras en el servicio. Una vez obtenidos y analizados se podrán hacer proyecciones para determinar el consumo y las demandas horarias futuras con las que se operará o diseñará el sistema de bombeo principalmente.

A falta de estos datos, es necesario a veces, hacer una estimación del consumo máximo de agua durante un mes, una semana, un día o una hora. R.O. Goodrich (ref. 13) sugiere la siguiente fórmula:

$$P = 180 t^{-0.10} \quad (2.3)$$

Donde:

P = Porcentaje sobre el consumo medio anual

t = tiempo (días)

La fórmula da un consumo máximo para el día de un 180% sobre el promedio, para el consumo semanal de un 148%, y para el mensual de un 128%.

Estas cifras son particularmente aplicables a las ciudades pequeñas. Otras ciudades tendrán generalmente puntas de consumo menores. Debe sumarse a estos valores la demanda contra incendios. Los consumos mínimos son de menor importancia que los caudales máximos, pero pueden ser necesarios en relación con el proyecto de estaciones de bombeo.

2.11 Diseños basados en la demanda

Un análisis más detallado de la demanda revela los diferentes tipos que se han de tener en cuenta para diseñar o revisar las obras (tabla 1.2).

El sistema se ha de planear de modo que satisfaga la demanda durante cada hora del día. Debido a que la demanda máxima horaria, que es la fluctuación que sufre la demanda de agua en las horas pico, puede superar hasta el 100% de la demanda media anual, durante la mayoría de las horas del año habrá un considerable excedente de capacidad en los distintos componentes de la red.

Por lo tanto, el diseño de los componentes del sistema de agua se debe efectuar en función de la demanda máxima horaria, otros de la demanda máxima diaria, que representa la fluctuación de la demanda en los días pico durante un año, y otros en la demanda media anual, esto con el fin de lograr una economía en su diseño.

Capítulo 3. Metodología para obtención de consumos en campo.

Para la obtención de consumos en campo se empleó las técnicas de los distritos hidrométricos, en este capítulo se definen los objetivos de éstos, las consideraciones que se deben tener en cuenta en su implementación, los equipos de medición en la entrada del distrito, los métodos estadísticos para determinar su tamaño, etc.

Se define distrito hidrométrico a aquella parte de la red de distribución que puede aislarse por medio de maniobras en las válvulas, para tener un punto de control donde se puedan registrar los gastos que se están suministrando, con la finalidad de determinar las variaciones de éstos, el volumen de pérdidas, etc. (ref. 7).

3.1 Objetivo de los distritos hidrométricos.

Para fines de este trabajo, los objetivos de instalar distritos hidrométricos son:

a) Establecer los consumos per cápita (l/hab/d) y su variación como función del tiempo, en los que pueden destacar:

- Consumo del sector: mínimo, máximo y medio diarios y horarios.
- Relaciones entre : consumo máximo y el consumo medio; el consumo mínimo y el consumo medio.
- Consumo por conexión: con micromedidor y sin micromedidor.
- Variación de la presión de las diversas zonas de la ciudad.

b) Recopilar los datos estadísticos necesarios para efectuar análisis tendientes a determinar la demanda y sus proyecciones en las diferentes zonas de abastecimiento o de presión.

c) Establecer la eficiencia de registro de los medidores.

- Precisión de los micromedidores, capacidad y características de la instalación.

d) Implementar un estudio de control de fugas (ref. 6).

- Análisis de incidencia de fugas de acuerdo con el tipo de conexiones prediales, red de distribución y materiales que la constituyen.

3.2 Consideraciones para la selección de los distritos hidrométricos

Para localizar un distrito hidrométrico se debe de establecer una serie de conexiones (apertura, y cierre de válvulas, etc.). Si dichas conexiones se consideran desde la etapa de diseño, se podrá tener un mejor control en el sistema.

3.2.1 Aplicación de la técnica de distritos hidrométricos.

Sobre un plano de la red se pueden definir los límites de los diversos sectores socioeconómicos de la ciudad, una vez seleccionado los sectores, en estos se localizan las áreas que sean más factible de aislarse por medio de maniobras en las válvulas de seccionamiento para localizar los distritos hidrométricos. Se debe tratar de establecer más de un distrito hidrométrico representativo de cada sector socioeconómico. En su forma más simple, podría haber tres estratos socioeconómicos (residencial, medio y popular), más los distritos comercial e industrial.

En general, es más sencillo iniciar la investigación en los sectores residenciales. Se debe escoger un sector que cumpla con las siguientes condiciones:

- a) Poder aislarlo con un número mínimo de válvulas.
- b) Se pueda suministrar la demanda adecuadamente a través de una tubería de mínimo 4 pulgadas.
- d) Esté saturado en cuanto a construcciones se refiere.
- e) Tenga un buen catastro de usuarios.
- f) Tenga una razonable cobertura de micromedición.

Los límites del distrito deben coincidir con líneas férreas, carreteras, avenidas, etc., para facilitar el acceso a la apertura y cierre de válvulas o accesorios.

En redes de distribución internas o externas al sector, se deben tener presiones iguales o superiores a la mínima (1.5 kg/cm^2), aun en horas de máximo consumo, para garantizar el abasto de agua.

El sector debe estar dentro del límite de la zona de presión (1.5 a 5 kg/cm^2), ya que es más frecuente que se fracase cuando se intenta establecer un sector que pertenezca a dos zonas de presión a la vez, por que puede faltar agua por insuficiencia de la red primaria de una o ambas partes.

En términos generales, la velocidad promedio en el conducto debe ser superior a 0.04 m/s para poder realizar con una precisión aceptable registros de caudal con el equipo de pitot.

3.2.2 Equipo de medición

En la línea de alimentación del distrito se instala un aparato registrador de gasto, que es portátil y funciona durante una semana en forma continua; durante este periodo no debe haber interrupciones en el abastecimiento. Los equipos e instrumentos más comunes que se encuentran en el mercado son (ref. 6):

- Pitot y registrador simplex.
- Pitot cole y registrador Británico
- Registrador Kent
- Otros (ultrasónicos).

En las láminas 3.1 y 3.2 se muestra, un equipo de pitometría con sus componentes, y la manera de hacer el montaje. Además del tubo manométrico, existen graficadores de reloj continuos electrónicos y mecánicos, que se pueden instalar para obtener la información de manera continua a través del tiempo.

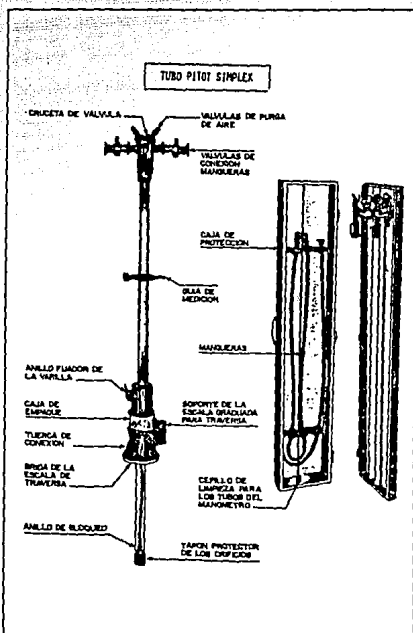


Lámina 3.1. Equipo de pitometría con manómetro diferencial.

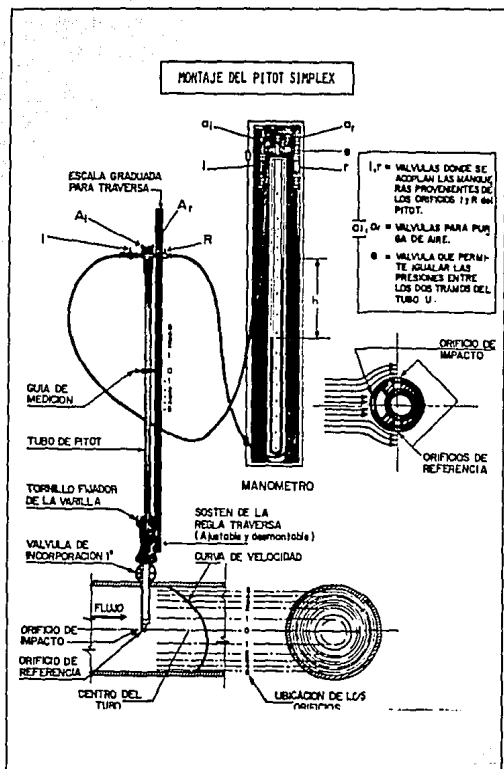


Lámina 3.2. Montaje del equipo de pitometría

El tubo Pitot está diseñado para trabajar bajo condiciones de operación en tuberías a presión, para lo cual se utiliza una insercionadora tipo Müller, como la mostrada en la lámina 3.3.

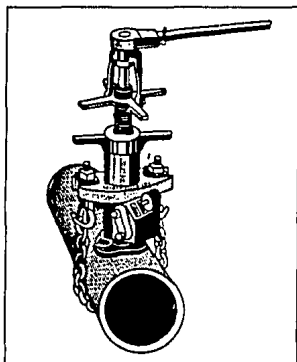


Lámina 3.3. Máquina insercionadora Müller

Una vez determinado el distrito sobre el plano (lámina 3.4), se visitará físicamente para inspeccionar y asegurarse de que sea representativo. Si se pueden obtener fotografías, especialmente aéreas, se contará con un factor adicional de evaluación para futuras comparaciones.

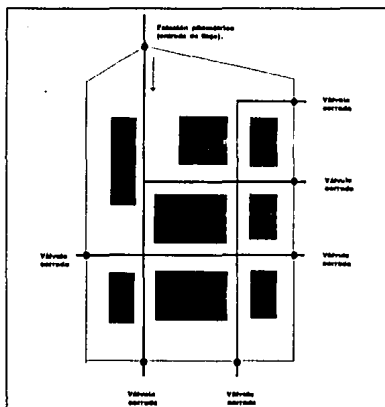


Lámina 3.4 Distrito hidrométrico típico.

3.3 Determinación del tamaño del distrito hidrométrico.

La obtención del tamaño del distrito se basa en la teoría del muestreo aleatorio simple estratificado, donde la población K de consumidores, se divide en subpoblaciones o estratos homogéneos:

$$K_0 = \sum_{i=1}^L K_i \quad (3.1)$$

Donde:

K_i = Estratos homogéneos (alta, media, baja, comercial, industrial).

Se determina el tamaño total de la muestra con la ecuación (ref. 5):

$$k_0 = \left(\frac{Z_c^2}{K d^2} \right) \left[\sum_{j=1}^n K_j P_j (100 - P_j) \right] \quad (3.2)$$

donde:

k_0 = Número total de usuario de todos los distritos hidrométricos a muestrear.

Z_c = Abscisa de la curva normal de probabilidades para un porcentaje de nivel de confianza.

K = Número total de usuarios de los estratos seleccionados.

d = Error en la estimación, en %.

K_j = Número de usuarios del estrato j .

P_j = Porcentaje del volumen consumido en el estrato j .

Puesto que al iniciar un muestreo aleatorio no se conoce P_j , este se puede estimar dividiendo, por sector, el volumen anual consumido del estrato j entre el volumen total consumido.

Se deberá hacer la corrección para poblaciones pequeñas mediante el siguiente cálculo:

$$k_c = \frac{K_o}{1 + \frac{K_o}{K}} \quad (3.3)$$

Donde:

k_c = Número total de usuarios corregido de todos los distritos hidrométricos, sólo cuando se tienen poblaciones pequeñas.

Finalmente se distribuye la muestra total (K_o o k_c según sea el caso) en proporción al área de cada sector, esto para calcular el área del distrito hidrométrico del estrato j , como:

$$Kdh_j = K_o \frac{K_j}{K} \quad (3.4)$$

Donde:

Kdh_j = Número de usuarios del distrito hidrométrico del estrato j .

En la tabla 3.1 se tienen el tamaño de los distritos hidrométricos por clase social, calculado mediante las ecuaciones 3.2 a 3.4 y el tamaño del distrito seleccionado en cada una de las ciudades seleccionadas del estudio.

La aplicación de la ecuación 3.2 no es simple y conviene exponer algunas observaciones y comentarios prácticos sobre su aplicación.

- El valor de Z_c se obtiene de una tabla de probabilidades con distribución normal (ref. 42), para lo cual se selecciona un cierto nivel de confianza; esto significa que la probabilidad de que esa muestra sea representativa de la población es igual al valor del nivel de confianza seleccionado.
- Mientras mayor sea el nivel de confianza, los resultados serán más representativos, pero también, implicará que el número de tomas por seleccionar sea mayor.
- El error en la estimación, d , representa la máxima diferencia entre el porcentaje de volumen obtenido en la muestra y el porcentaje real; a menor error en la estimación, el valor real del volumen consumidos es más cercano al estimado estadísticamente, y viceversa.
- De la experiencia lograda en otros estudios realizados por el IMTA (ref. 6), se observa que con un nivel de confianza del 95 % y un error en la estimación del 5 %,

se obtienen buenos resultados.

- Los estratos j corresponden a sectores o estratos homogéneos (que tienen características físicas y de consumo muy parecidas) del sistema de distribución.

Tabla 3.1. Tamaño de los distritos hidrométricos por clase social.

Ciudad	Usuarios	Estrato Social	Población por estrato (miles)	Muestra Total	Muestra por Estrato	Tamaño del D.H. Seleccionado
Perote	2847	ca	868	153	47	133
		cm	880		47	173
		cb	1099		59	163
Zacatecas	30811	ca	16382	272	145	212
		cm	9428		83	120
		cb	5001		44	98
Morelia	83083	ca	6996	310	26	54
		cm	60875		227	148
		cb	15213		57	210
Tecate	7873	ca	1748	110	24	68
		cm	2622		37	111
		cb	3503		49	156
Xalapa	40969	ca	4515	338	37	256
		cm	8952		74	751
		cb	27502		227	1264
Aguasca.	92510	ca	1710	576	106	986
		cm	33920		211	238
		cb	56870		354	839
Tijuana	141300	ca	33870	637	152	272
		cm	41770		188	1013
		cb	65480		295	303
Chihuahua	126011	ca	13861	588	56	120
		cm	27722		129	154
		cb	84427		394	201
Ensenada	37631	ca	3601	314	30	81
		cm	18014		150	353
		cb	16016		134	170
Córdoba	20123	ca	584	335	10	425
		cm	11007		183	1250
		cb	8532		142	325
Oaxaca	40274	ca	3407	343	29	38
		cm	12219		104	109
		cb	24648		210	205

Tabla 3.1. Tamaño de los distritos hidrométricos por clase social (continuación).

Ciudad	Población (miles)	Estrato Social	Población por estrato (miles)	Muestra Total	Muestra por Estrato	Tamaño del D.H. Seleccionado
Obregón	65879	ca	2774	407	17	252
		cm	58092		358	89
		cb	5013		31	4338
Mexicali	94773	ca	18955	537	107	376
		cm	43596		247	348
		cb	32223		183	197
M. de la T.	2591	ca	528	135	27	69
		cm	1091		57	190
		cb	973		51	124
Veracruz	83952	ca	7111	360	31	537
		cm	36175		155	893
		cb	40649		174	849
Tuxtla	48993	ca	5713	345	40	863
		cm	25996		183	389
		cb	17285		122	117
Colima	17241	ca	2641	242	37	75
		cm	7776		109	465
		cb	6824		96	466
Coatza.	30743	ca	1199	354	14	219
		cm	15605		180	267
		cb	13945		161	224
Manzanillo	20990	ca	1130	307	17	36
		cm	13580		199	215
		cb	6280		92	312
Mérida	119961	ca	3071	452	11	45
		cm	18690		70	52
		cb	98200		370	240
Tapachula	15790	ca	1070	343	23	639
		cm	9700		210	903
		cb	5020		109	511
Hermosillo	20990	ca	253	333	40	70
		cm	1198		190	362
		cb	648		103	348

En los estudios que se incluyen en este trabajo se seleccionaron solamente los tres estratos socioeconómicos, por razones de tiempo y economía.

Después de seleccionar los distritos, se verifica la ubicación y estado de las válvulas limítrofes, reportando a los responsables cuáles deberán ser rehabilitadas.

Posteriormente se selecciona el tamaño de la muestra en forma aleatoria.

3.4 Tamaño de la muestra

Para obtener el tamaño de la muestra total y por estratos, con un 95% de probabilidad de que el error que se cometa al inferir la media poblacional a partir de la media muestral, sea menor o igual a B, se aplican las siguientes fórmulas (ref. 9):

$$n = \frac{\sum_{i=1}^L (N_i \bar{\sigma}_i)^2}{N^2 \frac{B^2}{4} + \sum_{i=1}^L N_i \bar{\sigma}_i^2} \quad (3.5)$$

$$n_i = n \frac{N_i \bar{\sigma}_i}{\sum_{i=1}^L N_i \bar{\sigma}_i} \quad (3.6)$$

Donde:

n = Muestra total de tomas domiciliarias de los diferentes estratos sociales.

n_i = Número de tomas domiciliarias a muestrear del estrato i.

L = Estratos sociales seleccionados (alto, medio, bajo, comercial, etc.).

N_i = Número total de tomas domiciliarias del estrato i.

N = Número total de tomas domiciliarias de la población = $N_1 + N_2 + \dots + N_L$.

$\bar{\sigma}_i$ = Desviación estándar de los consumos históricos del estrato i.

B = Límite para el error de estimación (se recomienda 5 l/hab/d)

En una situación práctica la solución para "n" presenta un problema debido a que la desviación estándar ($\bar{\sigma}$) de los consumos es desconocida. Sin embargo ésta se puede obtener del análisis de los registros de consumos históricos, de manera que podemos obtener un tamaño de muestra aproximado al reemplazar $\bar{\sigma}$ (de los consumos históricos) en las ecuaciones anteriores.

La selección de las tomas que conforman la muestra para medición de consumos, se realiza tomando valores de una tabla de números aleatorios, con el objeto de que la muestra sea seleccionada al azar.

3.4.1 Selección aleatoria de una muestra pequeña

El muestreo utilizado requiere la determinación de una muestra representativa en cada uno de los estratos, éstas fueron calculadas mediante las expresiones 3.5 y 3.6, presentando valores altos con un promedio superior a 500.

Por lo tanto, en atención a las limitaciones en recursos financieros para el estudio por parte de los Organismos Operadores, se optó por obtener una muestra pequeña en cada distrito; siendo ésta la mínima cantidad de eventos representativos de una población muestral para un comportamiento con distribución normal. Para grupos homogéneos esta muestra pequeña consiste en la selección de 30 unidades muestrales, es decir 30 tomas domiciliarias en forma aleatoria (ref. 10).

3.5 Selección de las ciudades

Dentro de los trabajos preliminares fueron seleccionadas 22 ciudades bajo el criterio de regiones climáticas y tamaños de población para conformar una muestra estadística pequeña, representativa de la República Mexicana, en la tabla 3.1 se dan las ciudades seleccionadas para el estudio, así como el tamaño de los distritos hidrométricos seleccionados en campo para el estudio.

Capítulo 4. Mediciones de campo

4.1 Información de campo por clase socioeconómica

El trabajo consistió en obtener información de campo sobre consumos per cápita, porcentaje de micromedición, tipo de servicio, temperatura, para cada clase socioeconómica (alta, media y baja), de acuerdo a la metodología expuesta en el capítulo 3. Los resultados obtenidos se presentan en la tablas 4.1 a 4.4.

4.1.1 Medición de consumos per cápita

Los consumos de usuarios en los distritos de clases alta, media y baja de las ciudades seleccionadas, fueron registrados con los micromedidores domiciliarios (30 tomas domiciliarias por distrito hidrométrico).

Se verificó el estado general de los micromedidores mediante pruebas de aforo, que consistía en quitar el medidor del cuadro de la toma domiciliaria y calibrarlo en el banco de medidores del Organismo Operador, los que presentaban algún daño o mal funcionamiento fueron reparados o sustituidos por medidores nuevos.

Las lecturas se realizaron en periodos de quince días, esto con el objeto de determinar cuáles medidores presentaban problemas de funcionamiento por obstrucción o por algún daño (como actos vandálicos), con los registros y con el número de habitantes en cada domicilio se obtuvieron los consumos promedio per cápita mediante la ecuación 4.1

$$CPP = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CV}{h}}{P} \quad (4.1)$$

Donde:

CPP = Consumo promedio per cápita (l/hab/d).

CV = Consumo obtenido de las lectura en el micromedidor (l/hab/d).

h = Número de habitantes de la toma muestreada.

P = Período de lecturas del consumo (de 15 a 30 días).

El consumo ponderado se obtiene con la ecuación:

$$C_p = C_{ca} (\%CA) + C_{cm} (\%CM) + C_{cb} (\%CB) \quad (4.2)$$

Donde:

- C_p = Consumo ponderado (l/h/d)
- C_{ca} = Consumo de clase alta (l/h/d)
- C_{cm} = Consumo de clase media (l/h/d)
- C_{cb} = Consumo de clase baja (l/h/d)
- $\%CA$ = Población de clase alta (%)
- $\%CM$ = Población de clase media (%)
- $\%CB$ = Población de clase baja (%)

4.1.2 Información sobre precio del agua

Los datos del precio del agua se obtuvieron del Organismo Operador, estas tarifas son por rangos (bloque creciente), para la clase baja y media se analizó la tarifa mínima ya que ninguno de los registros de consumo en cada una de las muestras de dichas clases sobrepasa este rango, de la clase alta sólo en algunas ciudades los registros del consumo sobrepasaron el rango mínimo del precio del agua, en el tiempo que duró el estudio, por lo que para dichas ciudades se consideró el precio del agua que tenía su rango correspondiente (tabla 4.2).

4.1.3 Tipo de servicio

El tipo de servicio continuo se considera cuando la entrega de agua a la comunidad o al estrato socioeconómico es de 24 horas, cuando la entrega del agua se hace en un período menor de 24 horas el servicio se considera tandeado.

El tipo de servicio que se tomó en cuenta para cada una de las ciudades, corresponde al que se tenía en cada distrito hidrométrico, y no al de la ciudad (tabla 4.3).

4.1.4 Datos de temperatura media

El registro de la temperatura se llevó a cabo cada día; la temperatura (tabla 4.2) es el promedio de los registros que se tomaron sólo durante el tiempo que duraron las mediciones (es decir, si se midió de mayo a septiembre sólo se consideró el promedio de temperatura de esos meses), esto con el fin de que los registros fueran representativos con los consumos per cápita.

4.1.5 Porcentaje de micromedición en el sistema

El porcentaje de micromedición utilizado, se obtuvo respecto a la medición que se tiene en toda la ciudad para cada una de las clases socioeconómicas y no del distrito hidrométrico.

Tabla 4.1. Datos de consumos por clases sociales y consumo ponderado.

Dato	Ciudad	Consumo Ponderado (l/h/d)	Consumo (l/h/d)		
			Clase Baja	Clase Media	Clase Alta
1	Perote	152	111	199	156
2	Zacatecas	263	96	208	346
3	Morelia	181	64	198	284
4	Tecate	165	70	225	265
5	Xalapa	142	122	152	242
6	Aguascalientes	155	130	192	231
7	Tijuana	221	166	191	363
8	Chihuahua	150	133	167	257
9	Ensenada	184	96	225	366
10	Córdoba	156	108	176	327
11	Oaxaca	167	158	189	149
12	Cd. Obregón	301	187	314	233
13	Mexicali	194	71	185	424
14	Mtz. de la T.	269	231	354	380
15	Veracruz	279	246	284	439
16	Tuxtla	148	120	139	273
17	Colima	284	309	191	493
18	Coatzacoalcos	217	172	248	337
19	Manzanillo	203	126	204	620
20	Mérida	104	78	200	354
21	Tapachula	199	191	190	318
22	Hermosillo	239	189	235	388

Tabla 4.2. Datos de temperatura y precio del agua por clase social.

Dato	Ciudad	Temperatura (°C)	Precio del agua (\$/m ³)		
			Clase Baja	Clase Media	Clase Alta
1	Perote	12.70	0.40	0.60	0.70
2	Zacatecas	13.50	0.49	5.50	9.90
3	Morelia	16.70	0.49	0.98	1.96
4	Tecate	16.90	1.11	1.85	5.00
5	Xalapa	17.00	0.22	0.38	0.45
6	Aguascalientes	17.50	0.30	1.00	2.00
7	Tijuana	18.40	1.30	3.87	6.44
8	Chihuahua	18.70	0.68	1.72	2.75
9	Ensenada	19.00	0.20	1.10	2.03
10	Córdoba	20.40	0.40	0.60	0.70
11	Oaxaca	20.50	0.75	1.30	2.30
12	Cd. Obregón	21.40	0.29	0.62	1.25
13	Mexicali	21.90	0.13	1.34	1.60
14	Mtz. de la T.	23.10	0.40	0.55	1.00
15	Veracruz	24.10	0.36	0.39	0.50
16	Tuxtla	24.50	0.90	2.22	2.22
17	Colima	25.50	0.60	0.90	0.98
18	Coatzacoalcos	25.60	0.60	0.84	1.14
19	Manzanillo	27.00	0.60	0.80	0.90
20	Mérida	27.30	0.12	0.31	0.50
21	Tapachula	28.00	0.44	0.85	1.20
22	Hermosillo	28.10	0.15	0.68	1.21

Tabla 4.3. Micromedición y tipo de servicio por clases sociales.

Dato	Ciudad	Tipo de servicio			Micromedición (%)		
		CB	CM	CA	Clase Baja	Clase Media	Clase Alta
1	Perote	0	0	0	92.5	92.5	92.5
2	Zacatecas	0	0	1	60.0	60.0	60.0
3	Morelia	0	0	1	40.0	40.0	40.0
4	Tecate	0	0	1	30.0	10.0	30.0
5	Xalapa	0	0	0	96.6	96.6	96.6
6	Aguascalientes	0	1	1	60.0	60.0	60.0
7	Tijuana	0	0	0	30.0	30.0	30.0
8	Chihuahua	0	0	0	15.0	15.0	15.0
9	Ensenada	0	0	1	36.0	36.0	36.0
10	Córdoba	0	0	0	57.0	57.0	57.0
11	Oaxaca	0	0	0	20.0	30.0	80.0
12	Cd. Obregón	1	1	1	80.7	80.7	80.7
13	Mexicali	1	0	1	40.0	40.0	40.0
14	Mtz. de la T.	1	1	1	10.0	16.6	47.8
15	Veracruz	0	0	0	3.6	3.6	20.0
16	Tuxtla	0	0	0	81.6	81.6	81.6
17	Colima	1	0	1	75.0	75.0	75.0
18	Coatzacoalcos	1	1	1	62.0	62.0	62.0
19	Manzanillo	0	1	1	10.0	10.0	80.0
20	Mérida	0	1	1	70.0	70.0	70.0
21	Tapachula	0	0	0	52.0	52.0	52.0
22	Hermosillo	0	0	0	22.0	28.0	60.0

Nota: Tipo de servicio (continuo = 1 y tandeado = 0)

Tabla 4.4. Porcentaje de población por clase social, tamaño de población y tomas domiciliarias.

Datos	Ciudad	Clase socioeconómica (%)			Población (miles)	Tomas domici. (miles)
		CB	CM	CA		
1	Perote	38.6	30.9	30.5	50	2.847
2	Zacatecas	16.23	30.6	53.17	212	30.811
3	Morelia	18.31	73.27	8.42	624	83.083
4	Tecate	44.5	33.3	22.2	67	7.873
5	Xalapa	67.13	21.85	11.02	288	40.969
6	Aguasc.	61.48	36.67	1.85	520	92.51
7	Tijuana	46.4	29.6	24	978	14.113
8	Chihuahua	67	22	9.5	728	126.011
9	Ensenada	42.56	47.87	9.57	341	37.631
10	Córdoba	42.4	54.7	2.9	138	20.123
11	Oaxaca	61.2	30.34	8.46	350	40.274
12	Obregón	7.61	88.18	4.21	235	65.879
13	Mexicali	34	46	20	661	94.773
14	Mtz. T.	37.56	42.11	20.33	53	2.591
15	Veracruz	48.42	43.09	8.47	500	83.952
16	Tuxtla	35.28	53.06	11.66	310	48.993
17	Colima	39.58	45.1	15.32	140	32.851
18	Coatzaco.	45.36	50.76	3.9	232	30.734
19	Manzanillo	29.91	64.7	5.39	90	20.99
20	Mérida	81.86	15.58	2.56	557	119.961
21	Tapachula	31.8	61.4	6.8	152	15.79
22	Hermosillo	30.89	57.07	12.04	435	20.99

4.2 Consumos de agua potable para zonas urbanas

Con la información obtenida del estudio (tablas 4.1 a 4.4) se realizaron estadísticas de consumos para las diferentes clase sociales y climas, a continuación se dan algunos de los resultados.

4.2.1 Consumo promedio per cápita por clase social

En la tabla 4.5 se tienen los consumos promedio para cada clase social y el consumo promedio a nivel nacional, estos resultados se desprenden de las mediciones realizadas en las ciudades seleccionadas.

Tabla 4.5. Consumo promedio per cápita Nacional.

	Promedio Nacional	Clase social		
		Baja	Media	Alta
Consumo (l/h/d)	200	144	210	330

4.2.2 Consumo doméstico per cápita por tipo de clima y clase social.

En la tabla 4.6 se muestran los consumos por clima y clase socioeconómica obtenidos de las mediciones realizadas en las ciudades. El consumo doméstico se calcula multiplicando los datos de consumo *per cápita* del tabla 4.6, por el número de habitantes de cada zona socioeconómica de la localidad. La selección del clima de la ciudad estudiada se define en función de la temperatura media anual, como aparece en el tabla 4.7.

Tabla 4.6. Consumos domésticos per cápita por tipo de clima y clase social.

Clima	Consumo (l/h/d)		
	Baja	Media	Alta
Cálido	185	230	400
Semicálido	130	205	300
Templado	100	195	250

Notas:

- 1) Para los casos de climas semifrío y frío se consideran los mismos valores que para el clima templado.
- 2) El clima se selecciona en función de la temperatura media anual.

Tabla 4.7. Clasificación de climas por su temperatura (ref. 3).

Temperatura media anual (°C)	Tipo de clima
Mayor que 22	Cálido
De 18 a 22	Semicálido
De 12 a 17.9	Templado
De 5 a 11.9	Semifrío
Menor que 5	Frío

4.2.3 Consumo doméstico de clase social contra el precio del agua.

La tabla 4.8, muestra el consumo para las diferentes clases sociales y rangos en el precio del agua.

Tabla 4.8. Consumo per cápita contra precio del agua.

Precio del agua (\$/m ³)	Consumo (l/h/d)		
	Baja	Media	Alta
0 - 1	150	220	370
1 - 2	120	200	320
más de 2	-	180	290

Nota: Los consumos fueron redondeados a múltiplos de 10

4.2.4 Consumo per cápita de clase social contra porcentaje de micromedición

En la tabla 4.9, se presenta el consumo en función del porcentaje de micromedición para las diferentes clases socioeconómicas.

Tabla 4.9. Consumo per cápita contra porcentaje de micromedición.

Micromedición (%)	Consumo (l/h/d)		
	Baja	Media	Alta
0 - 50	145	220	375
50 - 100	135	200	295

4.2.5 Consumo doméstico contra tipo de servicio por clase social

La tabla 4.10 se tienen los consumos promedio per cápita por clase social para los diferentes tipos de servicio.

Tabla 4.10. Consumo per cápita contra tipo de servicio y clase social.

Tipo de servicio	Consumo (l/h/d)		
	Baja	Media	Alta
Tandeado	130	200	290
Continuo	195	240	360

Capítulo 5. Análisis del consumo

5.1 Relación del consumo con las diferentes variables.

La gran cantidad de factores que intervienen en el consumo hace conveniente un análisis de regresión y de varianza para determinar la tendencia de éste con respecto a cada variable.

Para el estudio de la información se desarrollan dos tipos de análisis: uno que considera la relación del consumo con cada uno de los factores por separado, en el cual se establecen una serie de ajustes para cada factor; y el segundo se hace por medio de un análisis de varianza, que considera la interacción de los factores con el consumo, mediante este análisis se desarrolla un modelo multivariado para el cálculo de éste.

A continuación se muestra el análisis por separado del consumo con los diferentes factores. El análisis de regresión y varianza se generaron considerando la temperatura, precio del agua, porcentaje de micromedición, porcentaje de clase socioeconómica, tamaño de la población y número de tomas domiciliarias (la información que se utilizó es por supuesto la presentada en las tablas 4.1 a 4.4).

5.1.1 Temperatura

En la tabla 5.1 se dan los ajustes encontrados para cada clase social, así como, los coeficientes de correlación; del análisis se puede determinar que el consumo tiende a aumentar conforme se incrementa la temperatura.

Tabla 5.1. Análisis de regresión de consumo per cápita contra temperatura.

Variable	Regresión	Coefficiente de correlación (r^2)
Clase Alta	$C = 14.42 \text{ Temp}^{1.015}$	0.51
Clase Media	$C = 11.58 \text{ Temp}^{0.972}$	0.37
Clase Baja	$C = 6.90 \text{ Temp}^{0.990}$	0.36
Consumo ponderado	$C = 53.38 \text{ Temp}^{0.414}$	0.21

Nota:

Temp = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

C = Consumo (l/hab/d)

En las láminas 5.1 a 5.3, se presentan los consumos per cápita por clase social contra la temperatura. Los ajustes de regresión (por mínimos cuadrados) muestran una tendencia de incremento, siendo más pronunciada para la clase alta, con diferencias de hasta 200 l/hab/d para ciudades con temperaturas medias de 13 a 28 °C. Este comportamiento se debe a que en dichas ciudades, cuenta con equipos de refrigeración y el riego del jardín más continuo.

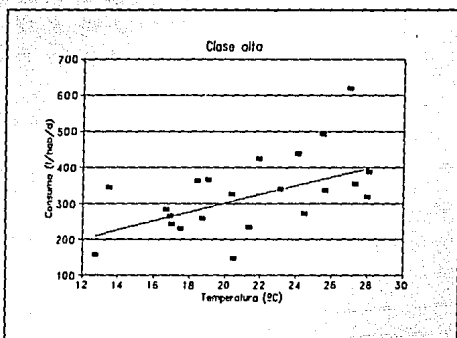


Lámina 5.1. Consumo de clase alta contra temperatura.

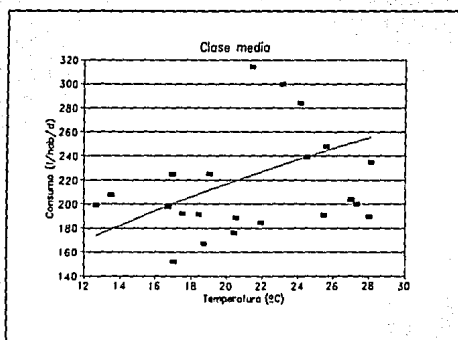


Lámina 5.2. Consumo de clase media contra temperatura.

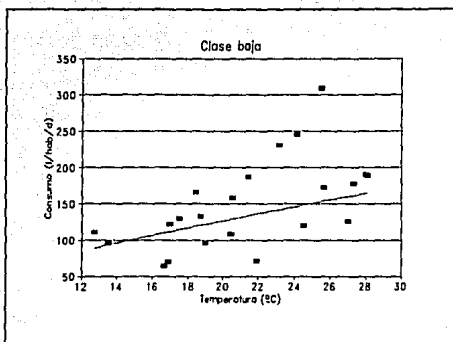


Lámina 5.3. Consumo de clase baja contra temperatura.

La lámina 5.2, muestra el consumo ponderado contra la temperatura, presenta una tendencia de incrementar el consumo conforme se incrementa la temperatura.

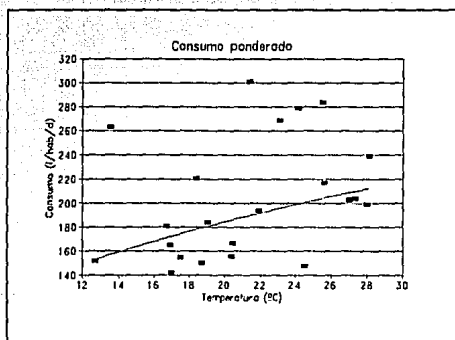


Lámina 5.4. Consumo ponderado contra temperatura.

5.1.2 Precio del agua

En la tabla 5.2 se dan los ajustes encontrados para cada clase social y para el consumo ponderado, así como, los coeficientes de correlación. En base al ajuste se puede establecer que existe una disminución del consumo conforme aumenta el precio del agua.

Tabla 5.2. Análisis de regresión de consumo per cápita contra precio del agua.

Variable	Regresión	Coefficiente de correlación (r^2)
Clase Alta	$C = 382.2 Pr^{-0.547}$	0.55
Clase Media	$C = 199.8 Pr^{-0.366}$	0.56
Clase Baja	$C = 110.7 Pr^{-0.363}$	0.49
Consumo ponderado	$C = 192.6 Pr^{-0.254}$	0.34

Nota:

Pr = Precio del agua (%/m³)

C = Consumo (l/hab/d)

En las láminas 5.5 a 5.8 se tienen el consumo por clase social y el ponderado contra el precio del agua; en dicha lámina se muestra la tendencia del consumo a disminuir conforme se incrementa el precio del agua.

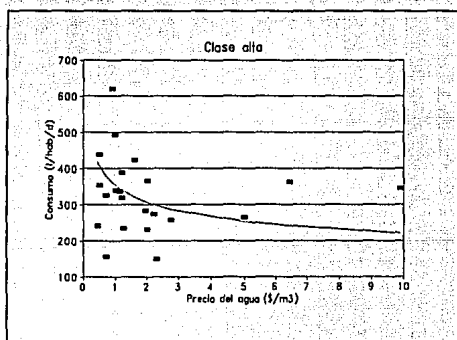


Lámina 5.5. Consumo de clase alta contra precio del agua.

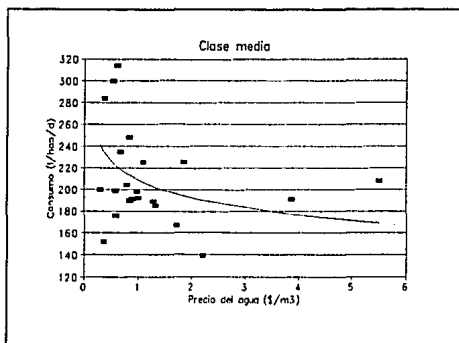


Lámina 5.6. Consumo de clase media contra precio del agua.

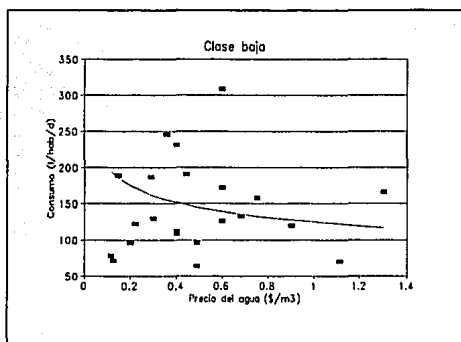


Lámina 5.7. Consumo de clase baja contra precio del agua.

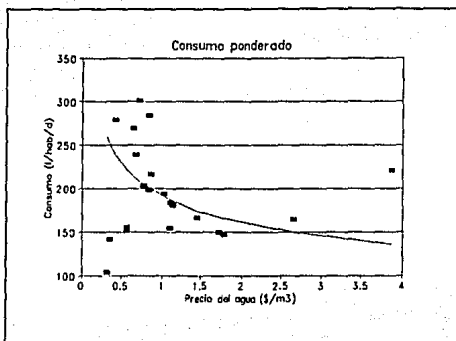


Lámina 5.8. Consumo ponderado contra precio del agua.

5.1.3 Micromedición

En la tabla 5.3 se presenta el análisis encontrado del consumo contra el porcentaje de micromedición; el coeficiente de correlación mayor se presenta para la clase alta seguido de la clase media, la clase baja y por último para el consumo ponderado.

Tabla 5.3. Análisis de regresión del consumo per cápita contra porcentaje de micromedición.

Variable	Regresión	Coefficiente de correlación (r^2)
Clase Alta	$C = 1137 P_m^{-0.347}$	0.48
Clase Media	$C = 340.1 P_m^{-0.146}$	0.47
Clase Baja	$C = 300.0 P_m^{-0.265}$	0.37
Consumo ponderado	$C = 296.4 P_m^{-0.115}$	0.26

Nota:

- P_m = Micromedición (%)
- C = Consumo (l/hab/d)

En las láminas 5.9 a 5.12 se tienen el consumo per cápita por clase social y el consumo ponderado contra el porcentaje de micromedición. Conforme aumenta el porcentaje de micromedición se tiene una tendencia de disminuir el consumo.

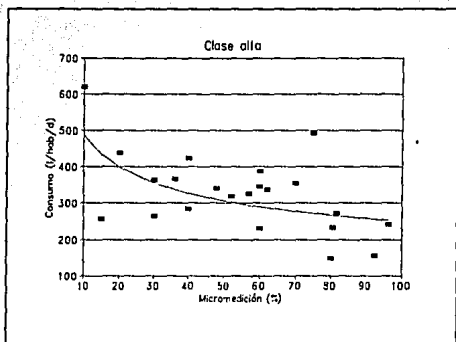


Lámina 5.9. Consumo de clase alta contra porcentaje de micromedición.

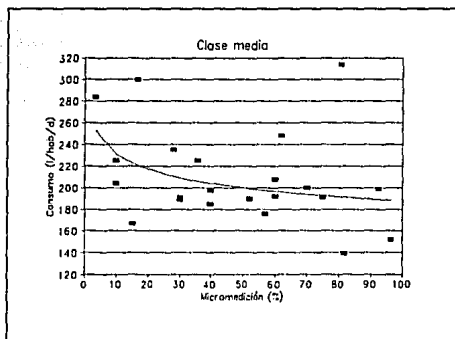


Lámina 5.10. Consumo de clase media contra porcentaje de micromedición.

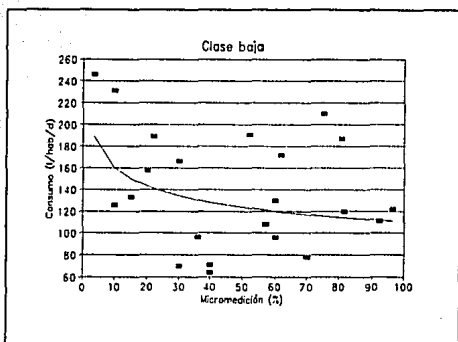


Lámina 5.11. Consumo de clase baja contra porcentaje de micromedición.

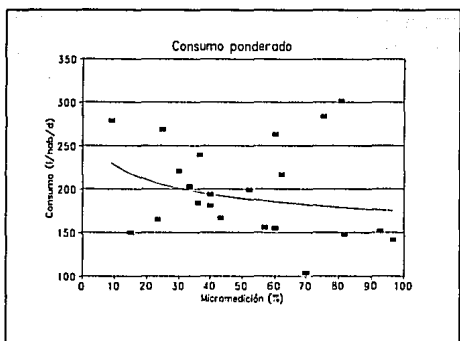


Lámina 5.12. Consumo ponderado contra porcentaje de micromedición.

5.1.4 Consumo de agua por tipo de servicio

Se realizó el análisis de regresión del consumo contra el tipo de servicio, en la tabla 5.4 se presentan dicho análisis, así como, los coeficientes de correlación.

Tabla 5.4. Análisis de regresión del consumo per cápita contra tipo de servicio

Variable	Regresión	Coefficiente de correlación (r^2)
Clase Alta	$C = 291.2 + 66.5 (Ts)$	0.33
Clase Media	$C = 197.1 + 45.8 (Ts)$	0.38
Clase Baja	$C = 131.8 + 62.4 (Ts)$	0.52

Nota:

C = Consumo (l/hab/d)

Ts = Tipo de servicio (continuo = 1, tandeado = 0)

En la lámina 5.13 se tiene la relación de los consumos promedio por tipo de servicio para cada clase social, se observa que los consumos mayores se presentan en la clase alta para servicio continuo, seguido de la clase media y por último de la clase baja; los consumos para servicio continuo son mayores que para servicio tandeado, en las tres clases sociales.

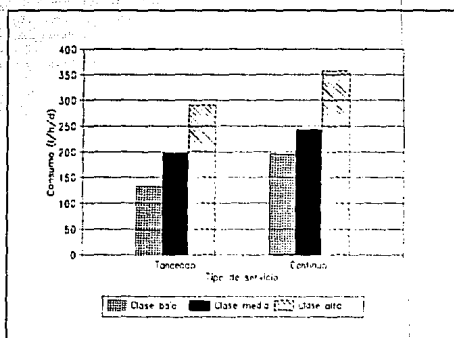


Lámina 5.13. Consumo de agua por tipo de servicio.

5.1.5 Clase socioeconómica.

En la tabla 5.5 se dan los resultados del análisis encontrados para cada una de las clases sociales, también se presentan los coeficientes de correlación, el mayor coeficiente se tienen en la clase baja, seguido de la clase media y por último de la clase alta.

Tabla 5.5. Análisis de regresión del consumo per cápita contra Porcentaje de población por clase social.

Variable	Regresión	Coefficiente de correlación (r^2)
Clase Alta	$C = 127.1 Ca^{0.170}$	0.28
Clase Media	$C = Cm/(0.0032 Cm + 0.814)$	0.43
Clase Baja	$C = 1/(0.0029 + 0.00006 cb)$	0.45

Nota:

- Ca = Porcentaje de población clase alta
- Cm = Porcentaje de población clase media
- Cb = Porcentaje de población clase baja
- C = Consumo (l/hab/d)

En la lámina 5.14 y 5.15 se muestra el consumo ponderado per cápita contra las clases socioeconómicas alta y media, se tiene un ligero aumento en el consumo conforme aumenta el porcentaje, esto se debe a que la clase dichas clases cuenta con áreas de jardín, dos o más baños y en algunos casos hasta alberca, lo que tienen como consecuencia un incremento en el consumo.

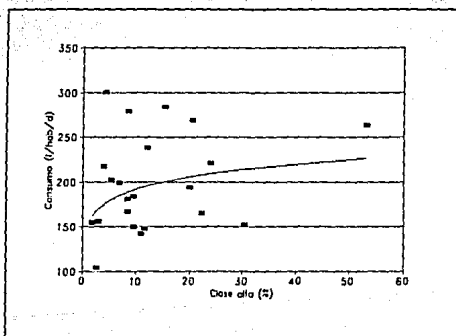


Lámina 5.14. Consumo ponderado contra porcentaje de población de clase alta.

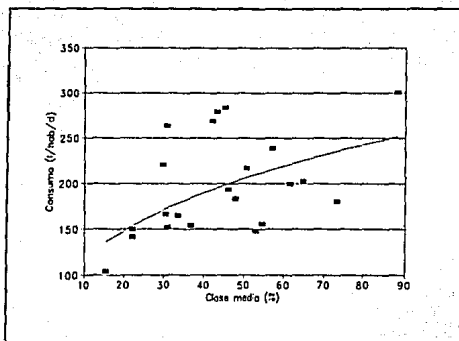


Lámina 5.15. Consumo ponderado contra porcentaje de población de clase media.

En la lámina 5.16 el consumo ponderado per cápita tiende a disminuir cuando aumenta el porcentaje de población de clase baja, este resultado se considera razonable, ya que dicha clase no cuenta con jardín, no tiene equipos de refrigeración y el tipo de servicio en la mayoría de las casas es tandeado.

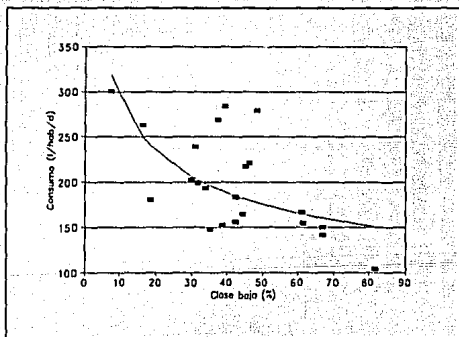


Lámina 5.16. Consumo ponderado contra porcentaje de población de clase baja.

5.1.6 Población

Se analizó el consumo ponderado contra el tamaño de población (lámina 5.17) y el consumo per cápita contra la población por clase socioeconómica (lámina 5.18), no se encontró una tendencia del consumo conforme se incrementa el tamaño de población.

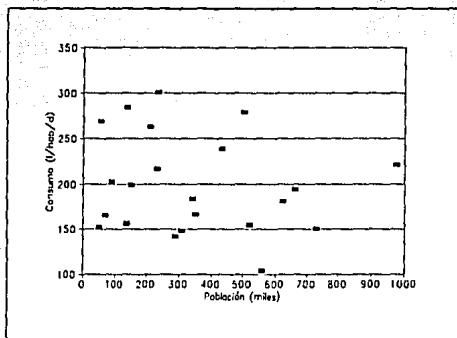


Lámina 5.17. Consumo ponderado contra tamaño de población.

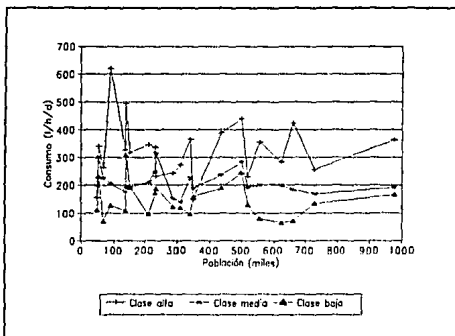


Lámina 5.18. Consumo de clase social contra tamaño de población.

5.1.7 Tomas domiciliarias

Se analizó el consumo ponderado contra el número de tomas domiciliarias (lámina 5.19) y el consumo per cápita contra número de tomas por clase socioeconómica (lámina 5.20), no se encontró una tendencia del consumo conforme se incrementa el número de tomas.

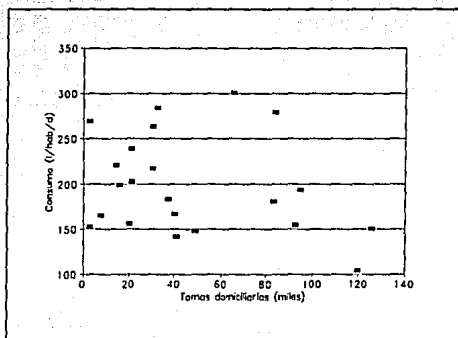


Lámina 5.19. Consumo ponderado contra tomas domiciliarias.

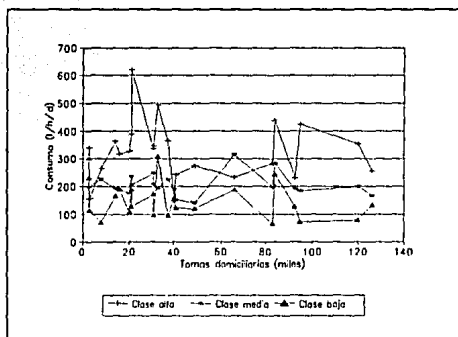


Lámina 5.20. Consumo de clase social contra tomas domiciliarias.

De los resultados obtenidos del consumo contra las diferentes variables, los coeficientes de correlación que se encontraron son bajos por lo que no se recomienda utilizarlos para determinar el consumo en función de sólo una de estas variables.

Es posible correlacionar el consumo en función de varias variables, esto se hace por medio de modelos multivariados, primero se determina cuáles son las variables que tienen más significancia sobre el consumo, para esto se realiza un análisis de varianza.

5.2 Análisis de varianza de las variables.

Habida cuenta que el análisis aislado de las variables no aporta información acerca del peso de cada factor en la determinación del consumo, se decidió efectuar un análisis de varianza.

Con el objeto de analizar la influencia del precio del agua, la temperatura, el porcentaje de micromedición y el tipo de servicio, en forma aislada o combinada, sobre el consumo per cápita se utilizó el análisis de varianza para modelos de correlación múltiple (tabla 5.6).

Por medio del análisis de varianza se determina que variable es más significativa para determinar el consumo; se pueden eliminar las variables que no tengan significancia y así comprender mejor el comportamiento del consumo en función de los parámetros supuestos.

El modelo propuesto para el análisis es el ANOVA, que consiste en determinar la significancia de cada uno de los factores, así como la interacción entre éstos y el consumo per cápita, para esto se compara la F calculada (por medio de la tabla 5.6) contra la F crítica. Cuando la F calculada es mayor que la F crítica, entonces se dice que el o los factores son significativos, de lo contrario éstos no se consideran en el análisis.

La tabla ANOVA para modelos de regresión múltiple es:

Tabla 5.6. Análisis de varianza (ANOVA ref. 12).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadra media	F calculada
Regresión	SCreg	k	CM = SCreg/k	CM/CME
error	E = SCreg-SCT	n-k-1	CME = E/(n-k-1)	
Total	SCT	n-1		

$$SC_{reg} = b_1 \sum (X_{i,1} - X_{n,1}) (Y_i - Y_n) + \dots + b_k \sum (X_{i,k} - X_{n,k}) (Y_i - Y_n) \quad (5.1)$$

$$SCT = \sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \quad (5.2)$$

Donde:

b_1, b_2, b_k = Coeficientes de la correlación

x_{ik} = Variables independientes

x_{nk} = Media de la variable independiente x_k

y_i = Variable dependiente

y_n = Media de la variable dependiente y

n = Tamaño de la muestra

Para realizar el análisis de la tabla 5.6, se utilizó una hoja de cálculo elaborada para desarrollar el análisis de varianza para modelos de correlación múltiple. Basta con introducir los datos y seleccionar la(s) variable(s) que se desea conocer su significancia y la hoja de cálculo automáticamente presenta la tabla ANOVA.

Como primer paso se deben determinar los coeficientes de correlación (r^2), para cada una de las variables relacionadas con el consumo, y así determinar cuál de éstas influye más en la predicción del consumo. En la tabla 5.7 se dan los coeficientes de correlación (r^2) de las variables consideradas para la clase alta (éstos se obtuvieron de las tablas 5.1 a 5.4).

Tabla 5.7. Coeficientes de correlación (clase alta).

Variable	Coefficiente de correlación (r^2)
Precio del agua	0.385
Temperatura	0.360
Porcentaje de micromedición	0.340
Tipo de servicio	0.200

Como el precio del agua resultó con el coeficiente de correlación mayor, el análisis de varianza (tabla 5.6) se iniciará con esta variable para determinar si es significativa.

Tabla 5.8. Análisis de varianza para precio de agua.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	87187	1	87187	9.13
Error	104947	11	9540	
Total	192134.8	12		

$F_{crítica} = F_{11,0.95} = 3.23 < \text{que } F_{calculada} = 9.13$, por lo tanto es significativa a un 95%.

También se analizaron las otras variables para determinar su significancia.

Tabla 5.9. Análisis de varianza para temperatura.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	69659	1	69659	6.25
Error	122475	11	11134	
Total	192134.8	12		

$F_{crítica} = F_{11,0.95} = 3.23 < \text{que } F_{calculada} = 6.25$, por lo tanto es significativa a un 90 %.

Tabla 5.10. Análisis de varianza para porcentaje de micromedición.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	55818	1	55818	4.50
Error	136316	11	12392	
Total	192134.8	12		

$F_{crítica} = F_{11,0.95} = 3.23 < \text{que } F_{calculada} = 4.50$, por lo tanto es significativa a un 90 %.

Tabla 5.11. Análisis de varianza para tipo de servicio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	45815	1	45815	3.43
Error	146319	11	13301	
Total	192134.8	12		

$F_{crítica} = F_{11,0.95}^1 = 3.23 < F_{calculada} = 3.43$, por lo tanto es significativa a un 95%.

En esta etapa se determina la importancia relativa de las variables independientes, para esto se debe contestar la siguiente pregunta: ¿ Contribuye significativamente las variables a predecir el consumo ?

Para contestar esta pregunta se requiere calcular las F parciales para el resto de las variables:

Tabla 5.12. Análisis de varianza para Precio del agua - micromedición

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	121206	2	60603	8.54
Error	70920	10	7092	
Total	192134.8	12		

La F parcial = $(121206 - 87187)/7092 = 4.79 > F_{10,95}^2 = 2.92$ por lo tanto la adición del precio del agua al modelo que ya contenía el porcentaje de medición si es significativa a un 95 %.

Tabla 5.13. Análisis de varianza para Precio del agua - Temperatura.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	96540	2	48270	5.04
Error	95594	10	9559	
Total	192134.8	12		

La F parcial = 0.98

De la misma manera se calculan las F parciales para las otras dos variables.

Tabla 5.14. Análisis de varianza para Precio del agua - Tipo de servicio

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	100289	2	50144	5.46
Error	91845	10	9184	
Total	192134.8	12		

La F parcial = 1.42

De los modelos de regresión con dos variables el que más significancia tiene es el del precio del agua - micromedición, por lo que se procede a calcular la significancia de la temperatura y el tipo de servicio dentro de el este modelo de la misma manera que el proceso anterior.

Tabla 5.15. Análisis de varianza para Precio del agua - Micromedición - Temperatura.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	137489	3	45832	7.55
Error	54636	9	6070	
Total	192134.8	12		

La F parcial = 2.86 > 2.81 $F_{c^3,90}$

Tabla 5.16. Análisis de varianza para Precio del agua - Micromedición - Tipo de servicio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	133564	3	44521	6.84
Error	58570	9	6508	
Total	192134.8	12		

La F parcial = 1.90

Tabla 5.17. Análisis de varianza para Precio del agua - Micromedición - Temperatura - Tipo de servicio.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F calculada
Regresión	152057	4	38011	7.58
Error	40086	8	5010	
Total	192134.8	12		

La F parcial = 2.90 > 2.81 Fc⁴_{8,90}

En las tablas 5.18 a 5.20 se presenta un resumen del análisis de varianza para cada variable y sus combinaciones, en la columna de las Fcríticas se determina el porcentaje de significancia de las variables.

Tabla 5.18. Resumen de las F calculadas para las diferentes variables y sus combinaciones (clase alta).

Fuente de variación	Fcalculada	Fparcial	Fcrítica
Pa	9.13		4.84 Fc ¹ _{11,95}
Temp	6.25		4.84 Fc ¹ _{11,95}
Pm	4.50		3.23 Fc ¹ _{11,90}
Ts	3.43		3.23 Fc ¹ _{11,90}
Pa-Tem	5.04	0.98	4.10 Fc ² _{10,95}
Pa-Pm	8.54	4.79	4.10 Fc ² _{10,95}
Pa-Ts	5.46	1.42	4.10 Fc ² _{10,95}
Pa-Pm-Tem	7.55	2.86	2.81 Fc ³ _{9,90}
Pa-Pm-Ts	6.84	1.90	2.81 Fc ³ _{9,90}
Pa-Pm-Temp-Ts	7.58	2.90	2.80 Fc ⁴ _{8,90}

Donde:

- Ts = Tipo de servicio
- Pa = Precio del agua
- Temp = Temperatura
- Pm = Micromedición

Siguiendo el mismo procedimiento se determinaron las F calculadas, las F parciales y F críticas de cada variable (tablas 5.19 y 4.20), para las clases socioeconómicas media y baja.

Tabla 5.19. Resumen de las F calculadas para las diferentes variables y sus combinaciones (clase media).

Fuente de variación	Fcalculada	Fparcial	Fcrítica
Ts	8.49		4.84 Fc ¹ _{11,95}
Pa	10.44		4.84 Fc ¹ _{11,95}
Temp	1.01		3.22 Fc ¹ _{11,90}
Pm	3.30		3.22 Fc ¹ _{11,90}
Pa-Ts	6.40	1.67	2.92 Fc ² _{10,90}
Pa-Tem	5.67	1.04	2.92 Fc ² _{10,90}
Pa-Pm	8.75	3.96	2.92 Fc ² _{10,90}
Pa-Pm-Ts	10.09	5.0	4.06 Fc ³ _{9,95}
Pa-Pm-Tem	5.2	0.01	4.06 Fc ³ _{9,95}
Pa-Pm-Ts-Temp	8.09	1.22	0.91 Fc ⁴ _{8,50}

Tabla 5.20. Resumen de las F calculadas para las diferentes variables y sus combinaciones (clase baja).

Fuente de variación	Fcalculada	Fparcial	Fcrítica
Ts	13.0		4.84 Fc ¹ _{11,95}
Pa	11.5		4.84 Fc ¹ _{11,95}
Temp	4.42		3.22 Fc ¹ _{11,90}
Pm	4.67		3.22 Fc ¹ _{11,90}
Ts-Pa	8.72	3.34	2.92 Fc ² _{10,90}
Ts-Tem	8.71	3.33	2.92 Fc ² _{10,90}
Ts-Pm	6.68	0.71	2.92 Fc ² _{10,90}
Ts-Pa-Tem	6.80	1.66	1.63 Fc ³ _{9,75}
Ts-Pa-Pm	7.59	2.47	1.63 Fc ³ _{9,75}
Ts-Pa-Pm-Temp	6.15	1.22	0.91 Fc ⁴ _{8,50}

Del análisis de varianza se tiene (tablas 5.18 a 5.20) la variable que más influye en el consumo en la clase baja es: el tipo de servicio, el precio del agua, el porcentaje de micromedición y la temperatura, en orden descendente. En la clase media son: el precio del agua, el porcentaje de micromedición, el tipo de servicio y la temperatura. En la clase alta son: El precio del agua, el porcentaje de micromedición, la temperatura y el tipo de servicio.

- Para la clase baja el tipo de servicio resulta ser la variable de mayor peso, esto se debe a que el 70 % de las ciudades del estudio cuentan con dicho servicio y intervalo entre tandeos llega a ser de más de un día. No así para la clase alta que resultó ser la variable de menor significancia y la clase media que es la tercera variable de peso, donde el tandeo del agua por lo general llega a ser sólo de unas horas al día y de unos días de la semana únicamente.

- En cuanto al precio del agua, esta variable resultó ser la más significativa para la clase alta y la clase media, esto se debe a que las tarifas que se manejan para dichas clases son mayores que para la clase baja, lo que provoca que la gente tienda a ahorrar más el agua. En la clase baja el precio es la segunda variable con más peso, abajo del tipo de servicio.

- El porcentaje de medición es la segunda variable que influye en el consumo de la clase alta y media, esto se debe a los rangos de tarifas que se maneja, es decir, a mayor consumo mayor es la tarifa que se cobra por un m^3 , por lo que los usuarios procuran tener un mayor ahorro del agua, cuando tienen medición del consumo. No así en la clase baja, que el consumo que tienen es menor y rara vez sobrepasan el rango de consumo para la tarifa mínima.

- La temperatura resulta ser la tercera variable más significativa para la clase alta, esto se debe a que cuentan con sistemas de refrigeración, mayores áreas de jardín. En la clase media y baja es la variable que menos interactúa con el consumo, debido a que estas clases sociales carecen en su mayoría de equipos de refrigeración, las áreas de jardines son pequeñas o no cuentan con ello, esto ocurre generalmente en las unidades habitacionales.

También del análisis se desprende que en la clase alta, se le da más importancia (en cuanto al uso del agua) al aspecto económico, ya que las dos variables que más influyeron son el precio del agua y la micromedición, seguido del aspecto climático (temperatura) y por último, a la disponibilidad del recurso (tipo de servicio).

En la clase media, se le da más importancia (en cuanto al uso del agua) al aspecto económico, ya que las dos variables que más influyeron son el precio del agua y la micromedición, seguido de la disponibilidad del recurso (tipo de servicio) y por último, el aspecto climático (temperatura).

En la clase baja tiene más efecto la disponibilidad del agua, ya que en ésta el tipo de servicio es el factor de más peso, seguida del aspecto económico (precio y micromedición) y por último, el aspecto climático (temperatura).

5.3 Modelos multivariados de consumo de agua

Maxwell A. (ref. 35) define a los modelos multivariados como aquellos métodos para pronosticar y explicar el fenómeno con el conocimiento de los factores que se relacionan con éste.

Para el análisis de la información presentada en las tablas 4.1, 4.4 se decidió utilizar un modelo multivariado; Namakforoosh M. N. explica que son los métodos estadísticos que simultáneamente analizan dos o más variables (ref. 32).

Por medio del análisis multivariado se analizaron tres modelos de consumo de agua (uno por cada clase socioeconómica) que se muestran a continuación:

5.3.1 Modelo de consumo de agua para clase baja

En la ecuación 5.1 se presenta el modelo multivariado para la clase baja; los coeficientes b_i obtenidos por mínimos cuadrados (ref. 35) se presentan en la tabla 5.21.

$$Ccb = b_0 Pa^{b_1} Tem^{b_2} Pm^{b_3} b_4^{Ts} \quad (5.3)$$

Tabla 5.21. Coeficientes b_i para el modelo de clase baja.

	Constante	Valor
Constante	b_0	20.58
Precio del agua (Pa)	b_1	- 0.231
Temperatura (Tem)	b_2	0.643
Micromedición (Pm)	b_3	- 0.068
Tipo de servicio (Ts)	b_4	1.310

El coeficiente de correlación $r^2 = 0.81$

Número de observaciones = 15

Grados de libertad = 10

En la lámina 5.21 se presenta el consumo real contra el consumo calculado con el modelo presentado en la ecuación 5.3.

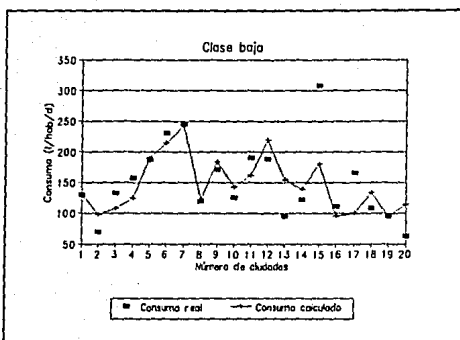


Lámina 5.21. Consumo real contra consumo calculado de la clase baja.

Nota: El orden de los datos de la lámina 5.21, corresponden a los presentados en la Tabla 5.22

Para el cálculo de los coeficientes de elasticidad del modelo de clase baja (ecuación 5.3), se seleccionaron las primeras 15 ciudades de la tabla 5.22, en dicha tabla se tiene la diferencia del consumo real menos el consumo calculado y el error promedio es del 17.7 %.

Las otras cinco ciudades (de la 16 a la 20) presentadas en la tabla 5.22, se utilizaron para verificar el modelo, encontrándose un error promedio del 19.82 %

El error promedio entre el consumo real y el calculado de las 20 ciudades es de 21.06% y el máximo error se encuentra en la ciudad de Morelia con un 80 %.

Tabla 5.22. Diferencia entre el consumo real y el calculado (clase baja).

Datos	Ciudad	Consumo (l/h/d)		Diferencia	
		Real	Calculado	(l/h/d)	(%)
1	Aguasc.	130	129.6	0.40	0.31
2	Tecate	70	98.1	28.19	40.27
3	Chihuahua	133	108.1	24.87	18.70
4	Oaxaca	158	125.1	32.89	20.82
5	Obregón	187	190.8	3.85	2.06
6	Mtz. de la T	231	214.5	16.49	7.14
7	Veracruz	246	242.5	3.42	1.39
8	Tuxtla	120	122.2	2.25	1.88
9	Coatzaco.	172	184.3	12.34	7.17
10	Manzanillo	126	143.1	17.10	13.57
11	Tapachula	191	162.1	28.95	15.16
12	Hermosillo	189	220.0	31.08	16.44
13	Ensenada	96	155.3	59.35	61.82
14	Xalapa	122	139.2	17.20	14.10
15	Colima	309	181.5	127.50	41.26
<i>Promedio</i>		<i>165.33</i>	<i>161.12</i>	<i>27.06</i>	<i>17.47</i>
16	Perote	111	95.8	15.19	13.68
17	Tijuana	166	99.9	66.01	39.77
18	Córdoba	108	134.3	26.30	24.35
19	Mexicali	71	72.42	1.42	1.48
20	Morelia	64	115.0	51.0	80
<i>Promedio</i>		<i>120.25</i>	<i>106.17</i>	<i>27.23</i>	<i>19.82</i>
Promedio total		151.25	147.826	28.29	21.06

5.3.2 Modelo de consumo de agua para la clase media

En la ecuación 5.4 se establece el modelo utilizado para calcular el consumo de clase media, los coeficientes de elasticidad (b_i) se presentan en la tabla 5.23.

$$C_{cm} = b_0 Pa^{b_1} Tem^{b_2} Pm^{b_3} b_4^{Ts} \quad (5.4)$$

Tabla 5.23. Coeficientes b_i para el modelo de clase media.

	Constante	Valor
Constante	b_0	38.0
Precio del agua (Pa)	b_1	- 0.223
Temperatura (Tem)	b_2	0.678
Micromedición (Pm)	b_3	- 0.1291
Tipo de servicio (Ts)	b_4	1.195

El coeficiente de correlación $r^2 = 0.80$

Número de observaciones = 15

Grados de libertad = 10

En la lámina 5.22 se presenta el consumo real contra el consumo calculado mediante la ecuación 5.4.

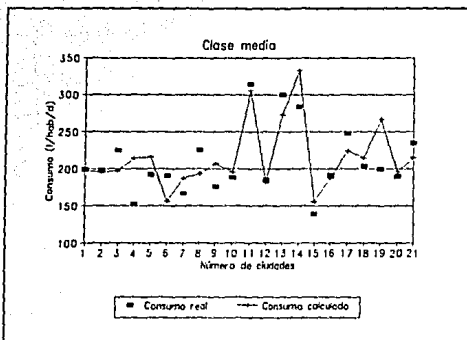


Lámina 5.22. Consumo real contra consumo calculado de la clase media.

Nota: El orden de los datos de la lámina 5.22, corresponden a los presentados en la tabla 5.24

Para el cálculo de los coeficientes de elasticidad de la ecuación 5.4, se seleccionaron las primeras 15 ciudades de la tabla 5.24, en dicha tabla se tiene la diferencia del consumo real menos el consumo calculado con un error promedio en del 15.88 %.

Las otras cinco ciudades restantes (de la 16 a la 20) presentadas en la tabla 5.24, se utilizaron para verificar el modelo, encontrándose un error promedio del 19.58 %.

El error promedio entre el consumo real y el calculado de las 20 ciudades es de 16.99%, el error máximo se tiene en la ciudad de Xalapa con un 41.65 %.

Tabla 5.24. Diferencia entre el consumo real y el calculado (clase media).

Datos	Ciudad	Consumo (l/h/d)		Diferencia	
		Real	Calculado	(l/h/d)	(%)
1	Tecate	225	143.38	81.62	36.28
2	Aguasc.	192	197.54	5.54	2.89
3	Chihuahua	167	164.61	2.39	1.43
4	Oaxaca	189	178.74	10.26	5.43
5	Obregón	314	224.57	89.43	28.48
6	Mexicali	185	175.97	9.03	4.88
7	Mtz de la T	300	267.13	32.87	10.96
8	Veracruz	284	248.43	35.57	12.52
9	Tuxtla	139	166.81	27.81	20.01
10	Colima	191	213.49	22.49	11.77
11	Coatzaco.	248	254.70	6.70	2.70
12	Manzanillo	204	258.68	54.68	26.80
13	Tapachula	190	221.34	31.34	16.49
14	Xalapa	152	215.31	63.31	41.65
15	Hermosillo	235	235.25	0.25	0.10
<i>Promedio</i>		<i>212.85</i>	<i>209.33</i>	<i>33.79</i>	<i>15.88</i>
16	Perote	199	152.82	46.18	23.21
17	Morelia	198	147.73	50.27	25.39
18	Tijuana	191	131.09	59.91	31.36
19	Ensenada	225	166.06	58.94	26.20
20	Córdoba	176	195.71	19.71	11.20
<i>Promedio</i>		<i>204</i>	<i>171.44</i>	<i>39.21</i>	<i>19.58</i>
Promedio total		210.2	197.97	35.41	16.99

5.3.3 Modelo de consumo de agua para la clase alta

En la ecuación 5.5 se establece el modelo utilizado para calcular el consumo de clase alta, los coeficientes de elasticidad (b_i) se presentan en la tabla 5.25.

$$Cca = b_0 Pa^{b_1} Tem^{b_2} Pm^{b_3} b_4^{Ts} \quad (5.5)$$

Tabla 5.25. Coeficientes b_i para el modelo de clase alta.

	Constante	Valor
Constante	b_0	27.30
Precio del agua (Pa)	b_1	- 0.221
Temperatura (Tem)	b_2	1.067
Micromedición (Pm)	b_3	- 0.238
Tipo de servicio (Ts)	b_4	1.190

El coeficiente de correlación $r^2 = 0.79$

Número de observaciones = 14

Grados de libertad = 9

En la lámina 5.23 se presenta la el consumo real contra el consumo calculado utilizando el modelo presentado en la ecuación 5.5.

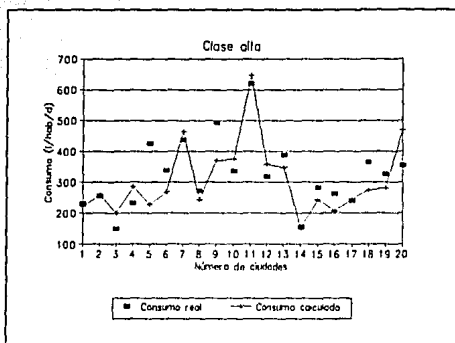


Lámina 5.23. Consumo real contra consumo calculado de la clase alta.

Nota: El orden de los datos de la lámina 5.23, corresponden a los presentados en la tabla 5.26

Para el cálculo de los coeficientes de elasticidad de la ecuación 5.5, se seleccionaron las primeras 15 ciudades de la tabla 5.26, en dicha tabla se tiene la diferencia del consumo real menos el consumo calculado con un error promedio en del 16.18 %.

Las otras cinco ciudades (de la 16 a la 20) presentadas en la tabla 5.26, se utilizaron para verificar el modelo, encontrándose un error promedio del 20.29 %.

El error promedio entre el consumo real y el calculado de las 20 ciudades es de 17.75%, el error máximo se tiene en la ciudad de Mexicali con un 46.28 %.

Tabla 5.26. Diferencia entre el consumo real y el calculado (clase alta).

Datos	Ciudad	Consumo (l/h/d)		Diferencia	
		Real	Calculado	(l/h/d)	(%)
1	Aguasc.	231	223.00	8.00	3.46
2	Chihuahua	257	260.74	3.74	1.46
3	Oaxaca	149	200.88	51.88	34.82
4	Obregón	233	285.76	52.76	22.64
5	Mexicali	424	227.77	196.23	46.28
6	Mtz de la T	340	268.96	71.04	20.89
7	Veracruz	439	465.22	26.22	5.97
8	Tuxtla	273	243.65	29.35	10.75
9	Colima	493	369.97	123.03	24.96
10	Coatzaco.	337	375.96	38.96	11.56
11	Manzanillo	620	647.27	27.27	4.40
12	Tapachula	318	358.40	40.40	12.70
13	Hermosillo	388	347.09	40.91	10.54
14	Perote	156	151.43	4.57	2.93
<i>Promedio</i>		<i>346.30</i>	<i>328.82</i>	<i>54.59</i>	<i>16.18</i>
15	Morelia	284	243.68	40.32	14.20
16	Tecate	265	206.94	58.06	21.91
17	Xalapa	242	245.42	3.42	1.41
18	Ensenada	366	274.02	91.98	25.13
19	Córdoba	327	281.76	45.24	13.83
20	Tijuana	363	469.34	115.34	32.58
<i>Promedio</i>		<i>294.62</i>	<i>256.58</i>	<i>67.72</i>	<i>20.29</i>
<i>Promedio total</i>		<i>326.61</i>	<i>301.30</i>	<i>59.60</i>	<i>17.75</i>

5.4 Análisis de sensibilidad del consumo

Mediante el análisis de sensibilidad se determina cual es la variación del consumo per cápita, conforme varía cada una de las variables tomadas en cuenta en los modelos, y así establecer cuál sería el incremento o decremento del consumo de acuerdo a la variación de éstas. Para el análisis de sensibilidad se utilizan los coeficientes de elasticidad b , de las tablas 5.22, 5.24 y 5.26.

5.4.1 Precio del agua

En la lámina 5.24 se presenta la variación del consumo (%) respecto a la variación del precio del agua (%); un aumento en el precio del agua representa una disminución del consumo, presentándose la mayor disminución en la clase alta, seguida de la clase media y por último la clase baja.

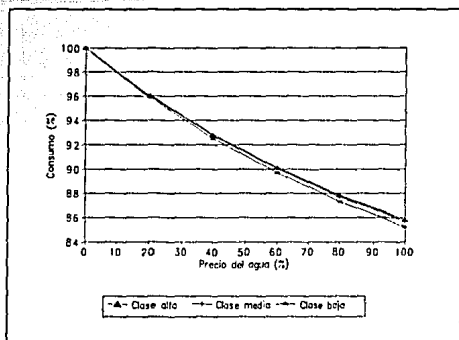


Lámina 5.24. Variación del consumo (%) contra el precio del agua (%).

En la tabla 5.27 se establecen las variaciones del consumo (%) conforme se incrementa el precio del agua, para un incremento del 20 % en el precio del agua se tiene una disminución del 4.12 % en el consumo de clase baja, 3.99 % de la clase media y 3.95 % en la clase alta.

Tabla 5.27. Variación del consumo (%) contra el precio del agua (%) por clase social.

Precio del agua (%)	Consumo (%)		
	Baja	Media	Alta
0	100.00	100.00	100.00
20	95.88	96.01	96.05
40	92.52	92.77	92.84
60	89.71	90.05	90.14
80	87.31	87.71	87.82
100	85.21	85.68	85.80

Estos datos concuerdan con los obtenidos por Gundermann (ref. 16), donde establece una elasticidad del precio del agua del 15 %.

5.4.2 Porcentaje de micromedición

En la lámina 5.25 se da la variación del consumo respecto a la variación del porcentaje de micromedición; un aumento en el porcentaje de micromedición representa una disminución del consumo, dándose una disminución mayor del consumo en la clase alta, seguida de la clase media y por último la clase baja.

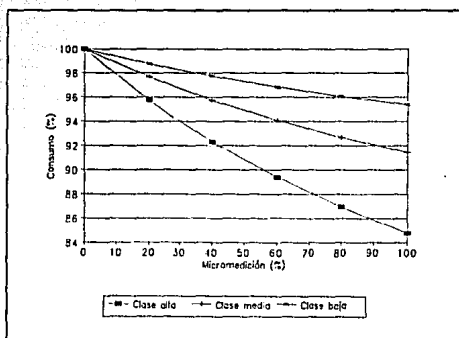


Lámina 5.24. Variación del consumo (%) contra la micromedición (%).

En la tabla 5.28 se establecen las variaciones del consumo (%) conforme se incrementa el porcentaje de micromedición, para un incremento del 100 % en la micromedición se tiene una disminución del 4.61 % en el consumo de clase baja, 8.56 % de la clase media y 15.2 % en la clase alta.

Tabla 5.28. Variación del consumo (%) contra el porcentaje de micromedición.

Micromedición (%)	Consumo (%)		
	Baja	Media	Alta
0	100.00	100.00	100.00
20	98.77	97.68	95.76
40	97.74	95.75	92.31
60	96.85	94.11	89.42
80	96.08	92.69	86.95
100	95.39	91.44	84.80

5.4.3 Temperatura

En la lámina 5.26 se tiene la variación del consumo respecto a la variación de la temperatura; un aumento en la temperatura representa un aumento del consumo, presentándose un aumento mayor en la clase alta, seguida de la clase media y por último la clase baja.

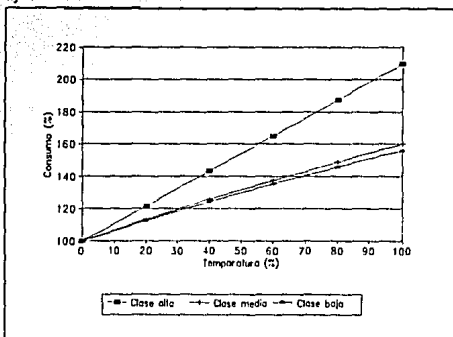


Lámina 5.26. Variación del consumo (%) contra la temperatura (%).

En la tabla 5.29 muestra que para un incremento del 20 % en la temperatura se tiene un incremento del 12.44 % en el consumo de clase baja, 13.16 % de la clase media y de 21.47 % en la clase alta.

Tabla 5.29. Variación del consumo (%) contra la temperatura.

Temperatura (%)	Consumo (%)		
	Baja	Media	Alta
0	100.00	100.00	100.00
20	112.44	113.16	121.47
40	124.15	125.62	143.19
60	135.28	137.53	165.12
80	145.93	148.96	187.23
100	156.16	159.99	209.50

5.4.4 Tipo de servicio

En la lámina 5.27 se presenta la variación del consumo respecto al tipo de servicio; Para ciudades con servicio continuo el consumo es mayor que para ciudades con servicio tandeado.

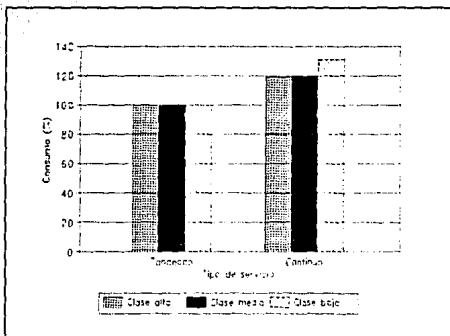


Lámina 5.27. Variación del consumo (%) contra el tipo de servicio.

Tabla 5.30. Variación del consumo (%) contra el tipo de servicio.

Tipo de servicio	Consumo (%)		
	Baja	Media	Alta
Tandeado	100	100	100
Continuo	131	120	119

En la tabla 5.30 se tiene la variación del consumo para cada clase socioeconómica, en función al tipo de servicio. El consumo para ciudades que tienen servicio tandeado es mayor que para las ciudades de servicio continuo; se tiene para la clase baja un consumo de un 31 % mayor cuando es servicio continuo, para la clase media de un 20 % y para la clase alta de un 19 %.

Capítulo 6. Coeficientes de variación

Los coeficientes de variación son utilizados para la determinación de los gastos de diseño hidráulico de los componentes de un sistema de abastecimiento de agua; y son el resultado de las variaciones del consumo del agua durante el día, y en periodos de mayor demanda (horas pico). Por ello, las obras de captación, líneas de conducción, tanques de regulación, cárcamo de bombeo y las redes de distribución deben ser diseñadas considerando un margen en la capacidad de los componentes para cubrir dichas variaciones (ref. 7 y 8).

Así pues, al gasto obtenido de las proyecciones de la demanda (gasto medio demandado), se debe calcular el gasto máximo horario y el máximo diario. La fórmula para determinar estos dos gastos se definió en el inciso 1.6 del capítulo uno.

6.1 Coeficientes de variación

Los coeficientes de variación se determinaron en función de las mediciones continuas hechas en las estaciones hidrométricas en periodos de 7 días, localizadas en la entrada del distrito. Las mediciones realizadas con manómetro diferencial (ver capítulo 3), permitieron conocer la variación del consumo respecto a su valor medio, así como su desviación estándar.

En las láminas del anexo se presenta la variación del gasto horario en % para las diferentes ciudades y clase socioeconómicas.

6.1.1 Cálculo del coeficiente de variación horaria

Se obtuvo el gasto promedio horario (Q_{ph}), para cada uno de los días, a partir de los gastos horarios (Q_h), para esto se selecciono el día de mayor consumo; sin considerar los registros en cero, cuando éstos no representen un suministro y por tanto una variación.

La expresión para calcular el gasto promedio horario es:

$$Q_{ph} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{hi}}{n} \quad (6.1)$$

Donde:

- Q_{ph} = Gasto promedio horario (%).
- Q_{hi} = Gasto registrado en la hora i .
- i = Hora de registro del gasto 1, 2, ..., 24
- n = Número total de horas (si es un día n será igual a 24).

Se procede a calcular la desviación estándar (S_h) de los gastos horarios como:

$$S_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{hi} - Q_{ph})^2}{n}} \quad (6.2)$$

Donde:

S_h = Desviación estándar de los gastos horarios

Una vez determinada la desviación estándar, se procede a calcular el factor de variación horaria, este cálculo se establece debido a que los datos obtenidos representan una muestra pequeña, siendo la curva de distribución del tipo t de student; para un nivel de confianza del 95 % se tiene:

$$FVH = \frac{\tau(a, \mu) S_h}{\sqrt{n}} \quad (6.3)$$

Donde:

FVH = Factor de variación horaria

a = Nivel de significancia considerado, (correspondiente a $\tau(0.95)$).

μ = Grados de libertad para la distribución t de student = n .

$\tau(a, \mu)$ = Se obtiene de la tabla t de student con los valores de " a " y " μ ".

Una vez obtenido el factor de variación se procede a calcular el coeficiente de variación horaria mediante:

$$C.V.H. = 1 + \frac{FVH}{Q_{ph}} \quad (6.4)$$

Donde:

C.V.H. = Coeficiente de variación horaria

6.1.2 Cálculo del coeficiente de variación diaria

De los gastos medios diarios obtenidos para cada uno de los días (también llamado gasto promedio horario, obtenido con la ec. 6.1), determinamos el gasto promedio de todos los días, mediante:

$$Q_{pd} = \frac{\sum_{j=1}^m Q_{mdj}}{m} \quad (6.5)$$

Donde:

Q_{pd} = Gasto promedio diario (l/s).

Q_{mdj} = Gasto medio diario del día j (l/s), que es igual al Q_{ph} .

m = Número de días de registro del gasto.

Se calcula la desviación estándar (S_d) de los gastos diarios como:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (Q_{mdj} - Q_{pd})^2}{m}} \quad (6.6)$$

Donde:

S_d = Desviación estándar de los gastos diarios (l/s).

Una vez determinada la desviación estándar, se procede a calcular el factor de variación diaria, este cálculo se establece debido a que los datos obtenidos representan una muestra pequeña, siendo la curva de distribución del tipo t de student; para un nivel de confianza del 95 % se tiene:

$$FVD = \frac{\tau(\alpha, \mu) S_d}{\sqrt{m}} \quad (6.7)$$

Donde:

FVD = Factor de variación horaria

a = Nivel de significancia considerado, (correspondiente a $\tau(0.95)$).

μ = Grados de libertad para la distribución t de student = m.

$\tau(a,\mu)$ = Se obtiene de la tabla t de student con los valores de "a" y " μ ".

Una vez obtenido el factor de variación se procede a calcular el coeficiente de variación diaria mediante:

$$C.V.D. = 1 + \frac{S_d}{Q_{pd}} \quad (6.8)$$

Donde:

C.V.D. = Coeficiente de variación diaria

Para registrar las variaciones de la demanda en los distritos, se requiere medir los gastos en forma continua y diaria durante un año, para lograr esto de una manera práctica y económica se hicieron las siguientes consideraciones:

- Las mediciones durante una semana, son representativas de las variaciones en un mes.
- Las mediciones realizadas en cualquier mes de una determinada estación anual, son representativas de ésta. Por tanto se requirió medir sólo 4 semanas en cada distrito hidrométrico seleccionado, cada una en cualquiera de los tres meses de la estación.
- Los coeficientes de variación consideran en su determinación el clima y las características socioeconómicas.

6.2. Valores de los coeficientes de variación.

En la tabla 6.1 y 6.2 se presentan los coeficientes de variación horaria y diaria respectivamente, calculados con el procedimiento arriba descrito, muestran los valores promedio anual máximos y mínimos para cada una de las regiones climáticas.

La clasificación de coeficientes por regiones tiene la finalidad de ser más consistente que la tradicional (Manual de obras de C.F.E), al considerar valores de cada región climática y con esto hacer más precisa la selección. En México dada la extensión

territorial con la consecuente diversidad climática, se advierte muy ambicioso y subjetivo tener un sólo rango para la variación horaria y diaria respectivamente, que es como lo expone el modo tradicional.

Tabla 6.1. Coeficientes de variación horaria por región climática.

Región climática	Coeficiente de variación horaria	
	Máximo	Mínimo
Cálido	1.48	1.21
Semicálido	1.62	1.20
Templado	1.54	1.15
Promedio	1.546	1.18

Tabla 6.2. Coeficiente de variación diaria por región climática.

Región climática	Coeficiente de variación diaria	
	Máximo	Mínimo
Cálido	1.42	1.05
Semicálido	1.42	1.15
Templado	1.41	1.10
Promedio	1.42	1.10

En la tabla 6.3 y 6.4 se presentan los coeficientes de variación horaria y diaria por clase socioeconómica con valores máximos y mínimos.

Tabla 6.3. Coeficiente de variación horaria por clase socioeconómica.

Clase socioeconómica	Coeficiente de variación diaria	
	Máximo	Mínimo
Alta	1.54	1.24
Media	1.56	1.23
Baja	1.54	1.18
Promedio	1.55	1.21

Tabla 6.4. Coeficiente de variación diaria por clase socioeconómica.

Clase socioeconómica	Coeficiente de variación diaria	
	Máximo	Mínimo
Alta	1.37	1.16
Media	1.44	1.10
Baja	1.44	1.08
Promedio	1.42	1.11

También se obtuvieron los coeficientes de variación por clase socioeconómica y región climática, así como su promedio, estos valores se muestran en las tablas 6.5 y 6.6 respectivamente.

Tabla 6.5. Coeficientes de variación horaria por clase socioeconómica y región climática.

Clase socioeconómica	Región climática		
	Cálido	Semicálido	Templado
Alta	1.52	1.50	1.60
Media	1.54	1.60	1.56
Baja	1.40	1.76	1.46
Promedio	1.48	1.62	1.54

Tabla 6.6. Coeficientes de variación diaria por clase socioeconómica y región climática.

Clase socioeconómica	Región climática		
	Cálido	Semicálido	Templado
Alta	1.47	1.34	1.30
Media	1.43	1.49	1.41
Baja	1.36	1.44	1.53
Promedio	1.42	1.42	1.41

Los coeficientes de variación horaria y diaria más altos por región climática, se obtuvieron en los periodos de verano.

ESTA TESIS
ME DEBE
SALIR DE LA
BIBLIOTECA

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

7.1.1 Estimación de la muestra

El muestreo aleatorio simple estratificado es una técnica que permite obtener buenos resultados por las razones siguientes:

- Se logra una buena precisión debido a la homogeneidad de los estratos, que en si constituyen una población.
- Facilita el análisis de los resultados y permite obtener una mejor estimación del valor medio de las observaciones en cada estrato y en la población.
- La estratificación da lugar a una ganancia en la precisión de la estimación de las características estudiadas que cuando se tiene una población heterogénea.

7.1.2 Consumos

Se determinaron datos de campo sobre el consumo en las ciudades, para esto se empleó el muestreo aleatorio simple estratificado. De las mediciones realizadas en se elaboraron tablas (4.10 a 4.15) sobre consumos (l/hab/d) en función de variables socioeconómica y del tipo de clima.

7.1.3 Análisis de varianza

- Las variables que más influyeron en el consumo por clase socioeconómica fueron: el precio, el tipo de servicio, la temperatura y el porcentaje de micromedición.
- De un análisis de varianza se tiene que la variable que más influye en el consumo en la clase baja es: el tipo de servicio, el precio del agua, el porcentaje de micromedición y la temperatura, respectivamente. En la clase media son: el precio del agua, el porcentaje de micromedición, el tipo de servicio y la temperatura. En la clase alta son: El precio del agua, el porcentaje de micromedición, la temperatura y el tipo de servicio, respectivamente.
- Del análisis se desprende que en la clase alta, se le da más importancia (en cuanto al uso del agua) al aspecto económico, ya que las dos variables que más influyeron son el precio del agua y la micromedición, seguido del aspecto climático (temperatura) y por último, a la disponibilidad del recurso (tipo de servicio).

- En la clase media, se le da más importancia (en cuanto al uso del agua) al aspecto económico, ya que las dos variables que más influyeron son el precio del agua y la micromedición, seguido de la disponibilidad del recurso (tipo de servicio) y por último, el aspecto climático (temperatura).

- En la clase baja tiene más efecto la disponibilidad del agua, ya que en ésta el tipo de servicio es la variables de más peso, seguida del aspecto económico (precio y micromedición) y por último, el aspecto climático (temperatura).

7.1.4 Modelos de consumo

- Se plantean tres modelos de multivariados para determinar el consumo por clase socioeconómica, en función del precio del agua, temperatura, micromedición y tipo de servicio. Los coeficientes de correlación encontrados para los modelos resulta ser del $r^2 = 0.80$; las diferencias en % entre el consumo real y el consumo calculado con los modelos son: para la clase baja del 21.06 %, para la clase media del 16.99 % y para la clase alta del 17.75 %

- Mediante los coeficientes de elasticidad se plantea una variación del consumo conforme varían: el precio, la micromedición, la temperatura y el tipo de servicio.

7.1.5 Coeficientes de variación

Las variaciones de la demanda obtenidas en campo se obtuvieron para un 95 % de confianza con las que se calcularon los coeficientes de variación horaria y diaria, por clima y clase socioeconómica. El coeficiente de variación horaria resultó de 1.55 y el coeficiente de variación diaria fue de 1.43.

Los patrones de variación de la demanda presentan una tendencia mayor durante las mañanas y ocasionalmente en las tardes, y los gastos mínimos durante las noches.

El periodo que presenta mayores variaciones de la demanda resulta ser el verano y las de menor variación de la demanda la época de invierno, es por esta razón que sólo se incluyen las gráficas de variación de la demanda del periodo de verano.

Debido a que la cantidad de equipos no era suficiente para medir en todas las ciudades el mismo tiempo, se hacían mediciones de la variación de la demanda sólo durante una semana en cada estrato social para cada época del año, posteriormente el equipo era transferido a otra ciudad u otra clase social.

7.2 Recomendaciones

Conviene obtener consumos de otras ciudades, que hagan posible la intervención de un mayor número de datos de campo en el cálculo de los coeficientes de elasticidad.

Las recomendaciones para usar, con fines de diseño, los consumos obtenidos en las tablas 4.10 a 4.15 y los coeficientes de variación son:

- Utilizar estos valores de diseño sólo en ciudades de la República Mexicana de tamaño medio (de 50 mil a 900 mil habitantes), ya que las ciudades muestreadas comprenden estos rangos de población.

- Identificar la región climática y el estrato socioeconómico del sitio y su correspondencia con los definidos en este trabajo. Si es posible comparar también otras variables, como tarifas de agua, micromedición y tipo de servicio.

- Si por la localización y magnitud de la obra, hay incertidumbre y si el tiempo lo permite, se propone aplicar la misma metodología en la localidad para el ciclo estacional de mayor demanda.

Referencias

1. Hidalgo L.M., Ochoa A.L., *Concepción actual de la demanda de agua potable*, XXIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cuba 1992.
2. Ochoa A. L., Rodríguez V. M. y Delgado B. A., *Análisis de la información del estudio de actualización de dotaciones en el país*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Uso Eficiente del Agua, 1993.
3. DDF, *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, quinta época No. 9, México, D. F., 6 de julio de 1987.
4. Dangerfield B.J., *Water supply and sanitation in developing countries*, The Institution of Water Engineers and Scientist, London, England 1983.
5. Ochoa A. L., Arreguín C. F., *Evaluación de pérdidas de agua potable en sistemas de distribución*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Uso Eficiente del Agua, 1993.
6. Enriquez, Z. S., Vázquez L. A., Ochoa A. L., *Control de fugas en sistemas de distribución*, Libro II, segunda sección, tema 4, Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CNA, México, 1993.
7. Tzatchkov V. Izurieta D. J., *Redes de distribución*, Libro II, primera sección, tema 4, Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CNA, México, 1993.
8. CNA, *Situación actual del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*, SARH, México, agosto, 1993.
9. Scheaffer, Mendenhall, Ott, *Elementos de muestreo*, editorial Iberoamérica, 1986.
10. Murray R. S., *Probabilidad y estadística*, McGraw-Hill, serie Schaum, 1981.
11. Vilchis, V. R., *Estudio de actualización de dotaciones en el país*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Subcoordinación de Uso Eficiente del Agua, 1993.
12. Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado, *Normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas*, S. R. H. 1974.
13. Steel E. W. and McGhee Terence, *Water Supply and Sewerage*, McGraw Hill, 5th edition, 1979.

14. Babbitt H. E., Donald J. J. and Cleasby J. L., *Water Supply Engineering*, McGraw Hill book company, sixth edition, 1967.
15. Bernard J. D., *Water Supply and Sanitation in Developing Countries*, The Institution of Water Engineers and Scientist, London, England, 1993.
16. Gundermann H., et al. *Technical and economics aspects of water demand*, International report, 1992.
17. Rodrigues H., Narchi & M. S. *Technical and economics aspects of water demand*, International report, 1992.
18. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Veracruz*, IMTA, Universidad de Veracruz, México, 1992.
19. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Martínez de la Torre*, IMTA, Universidad de Veracruz, México, 1992.
20. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Coatzacoalcos*, IMTA, Universidad de Veracruz, México, 1992.
21. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Colima*, IMTA, Universidad de Colima, México, 1992.
22. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Manzanillo*, IMTA, Universidad de Colima, México, 1992.
23. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Tapachula*, IMTA, México, 1992.
24. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Tuxtla*, IMTA, México, 1992.
25. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Oaxaca*, IMTA, México, 1992.
26. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Aguascalientes*, IMTA, Universidad de Aguascalientes, México, 1992.
27. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Hermosillo*, IMTA, Universidad de Sonora, México, 1992.
28. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Obregón*, IMTA, Universidad de Sonora, México, 1992.

29. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Obregón*, IMTA, Universidad de Sonora, México, 1992.
30. CNA, *Estudio de actualización de dotaciones de la ciudad de Mexicali*, IMTA, Universidad de Baja California, México, 1992.
31. Dunn J. O, Clark V. A., *Applied statistics: analysis of variance and regression*, John Wiley and son, New York, 1976.
32. Namakforoosh M. N., *Metodología de la investigación*, Limusa, México, 1993
33. Agresti A., Finlay B., *Statistical methods for social sciences*, Deller Publishing Company, San Francisco 1986, Divisions of Macmillan Inc.
34. Kindler J., Rusell C.S., *Modeling water demands*, Academic Press (Harcourt Brace Jovanovich, Publishers), 1984.
35. Maxwell A. *Multivariate analysis in behavioural research*, Richard Clay Ltd. Londres Gran Bretaña, 1975.
36. SAHOP, *Manual de normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en las localidades urbanas de la República Mexicana*, México, 1979.
37. CNA, *Lineamientos técnicos para la elaboración de estudios y proyectos de agua potable y alcantarillado sanitario*, México, 1992.
38. Buenfil M., Feather T., *Water demand management in México: Opportunities for technology transfer from the USA*, Water Demand Management, 1993.
39. Murdock H. S., et al., *Role of sociodemographics in projections of water use*, Water Resources Planning and Management, vol. 117, number 2, march/april, 1991.
40. Howe W. CH., Linaweaver P. F., *The impact of price on water demand and its relation to system design and price structure*, Water Resources Research, vol. 3, number 1, 1967.
41. Weber J. A., *Forecasting demand and measuring price elasticity*, Management and operation, journal of AWWA, may, 1989.
42. Himmenblau D. M., *Analysis by statistical methods*, John Wiley and Son, New York, 1969.

ANEXO

Zacatecas, Zacatecas.

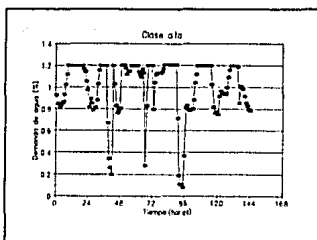


Lámina A.1. Variación de la demanda de agua, clase alta.

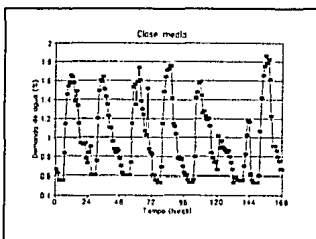


Lámina A.2. Variación de la demanda de agua, clase media.

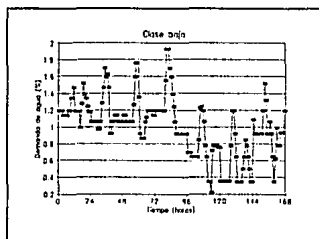


Lámina A.3. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Tecate, B. C.

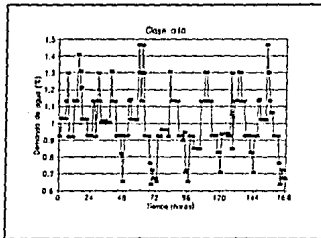


Lámina A.4. Variación de la demanda de agua, clase alta.

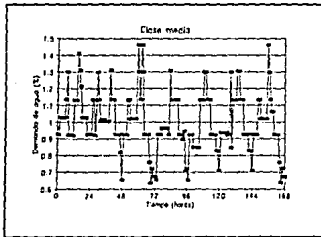


Lámina A.5. Variación de la demanda de agua, clase media.

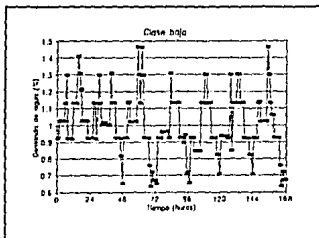


Lámina A.6. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Xalapa, Ver.

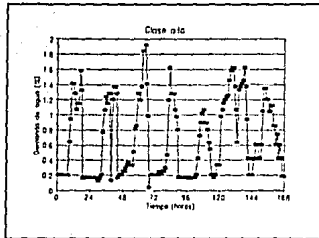


Lámina A.7. Variación de la demanda de agua, clase alta.

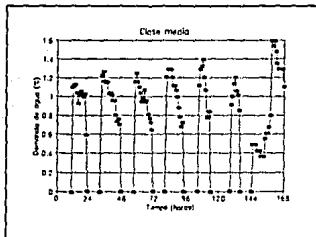


Lámina A.8. Variación de la demanda de agua, clase media.

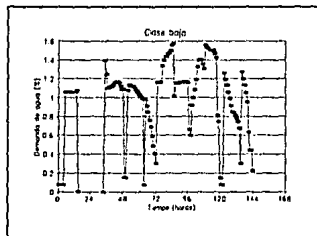


Lámina A.9. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Aguascalientes, Ags.

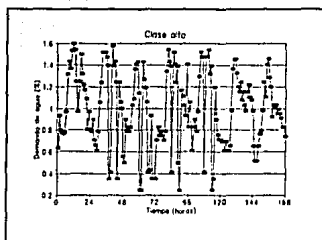


Lámina A.10. Variación de la demanda de agua, clase alta.

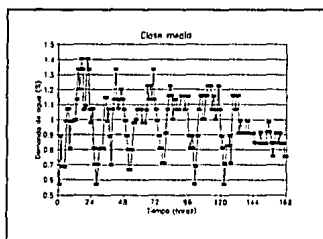


Lámina A.11. Variación de la demanda de agua, clase media.

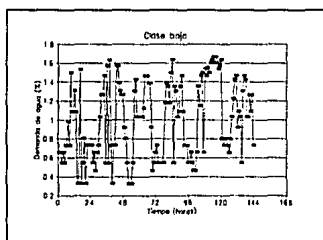


Lámina A.12. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Tijuana, B. C.

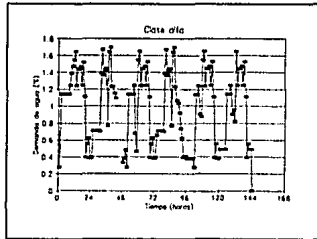


Lámina A.13. Variación de la demanda de agua, clase alta.

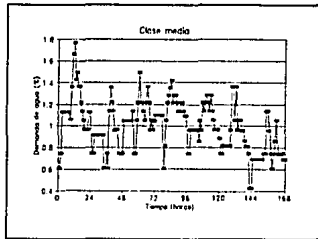


Lámina A.14. Variación de la demanda de agua, clase media.

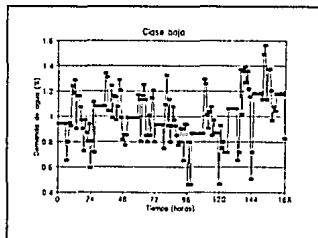


Lámina A.15. Variación de la demanda de agua, clase baja

Chihuahua, Chih.

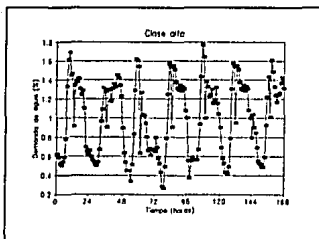


Lámina A.16. Variación de la demanda de agua, clase alta.

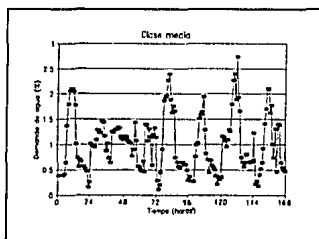


Lámina A.17. Variación de la demanda de agua, clase media.

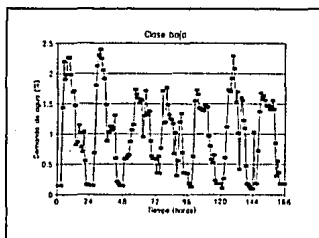


Lámina A.18. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Ensenada, B. C.

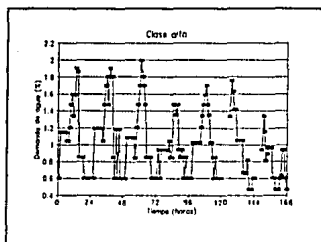


Lámina A.19. Variación de la demanda de agua, Clase alta

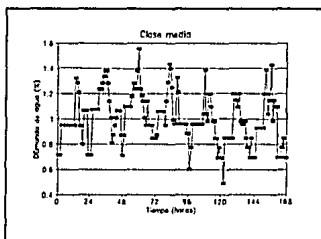


Lámina A.20. Variación de la demanda de agua, clase media

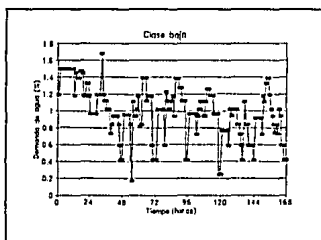


Lámina A.21. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Córdoba, Ver.

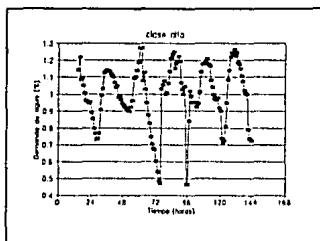


Lámina A.22. Variación de la demanda de agua, clase alta.

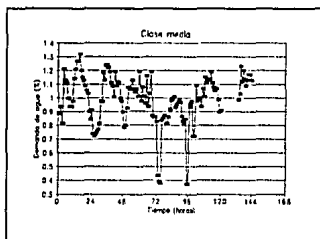


Lámina A.23. Variación de la demanda de agua, clase media.

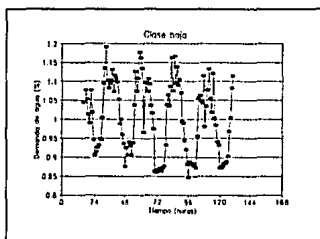


Lámina A.24. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Obregón, Son.

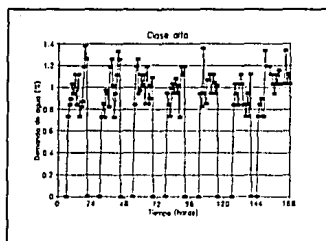


Lámina A.25. Variación de la demanda de agua, clase alta.

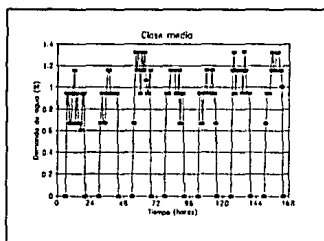


Lámina A.26. Variación de la demanda de agua, clase media.

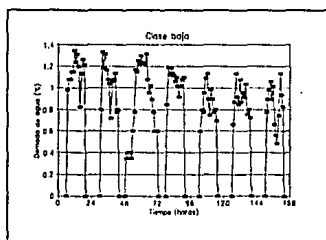


Lámina A.27. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Mexicali, B. C.

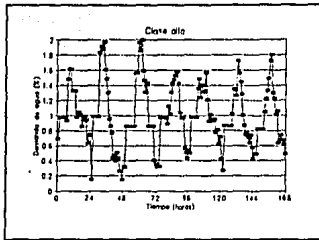


Lámina A.28. Variación de la demanda de agua, clase alta.

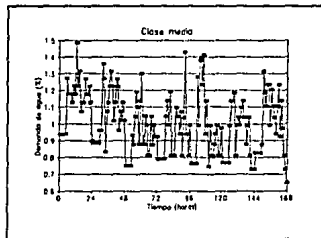


Lámina A.29. Variación de la demanda de agua, clase media.

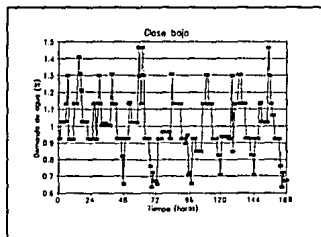


Lámina A.30. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Martínez de la Torre, Ver.

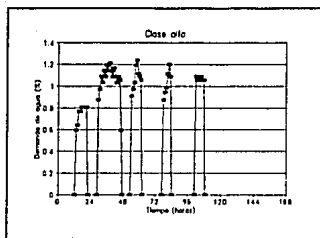


Lámina A.31. Variación de la demanda de agua, clase alta.

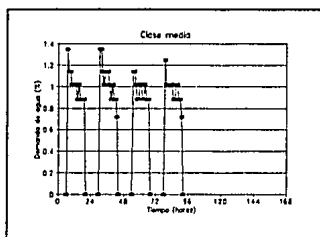


Lámina A.32. Variación de la demanda de agua, clase media.

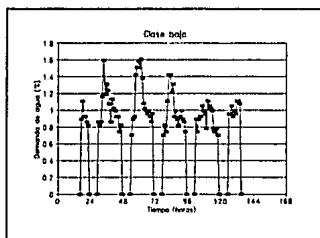
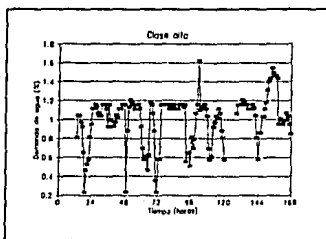
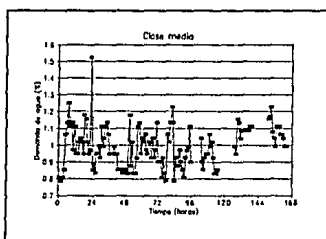


Lámina A.33. Variación de la demanda de agua, clase baja.

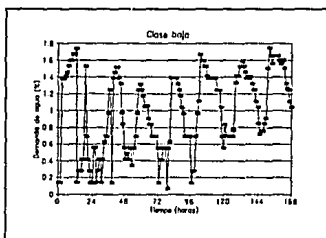
Veracruz, Ver.



Lámian A.34. Variación de la demanda de agua, clase alta.



Lámian A.35. Variación de la demanda de agua, clase media.



Lámian A.36. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

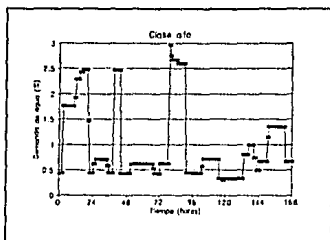


Lámina A.37. Variación de la demanda de agua, clase alta.

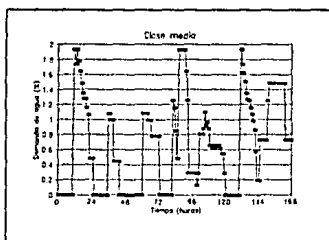


Lámina A.38. Variación de la demanda de agua, clase media.

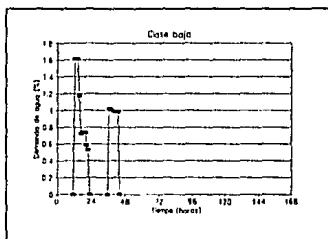


Lámina A.39. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Colima, Col.

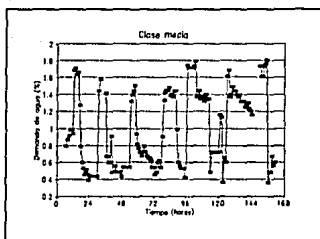


Lámina A.40. Variación de la demanda de agua, clase media.

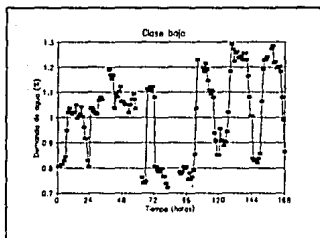


Lámina A.41. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Coatzacoalcos, Ver.

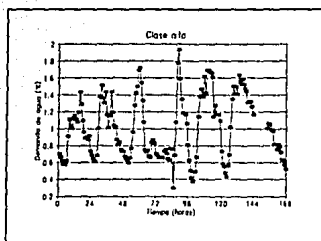


Lámina A.42. Variación de la demanda de agua, clase alta.

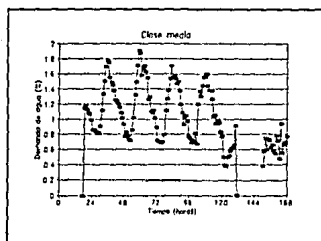


Lámina A.43. Variación de la demanda de agua, clase media.

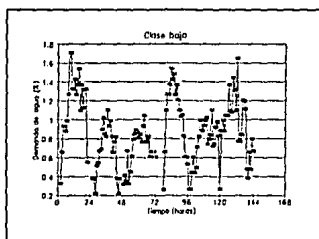


Lámina A.44. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Manzanillo, Col.

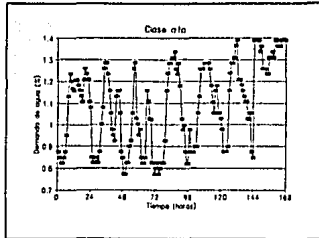


Lámina A.45. Variación de la demanda de agua, clase alta.

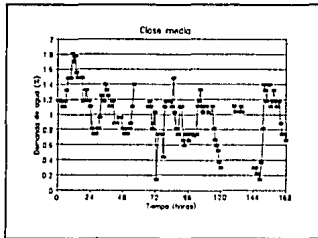


Lámina A.46. Variación de la demanda de agua, clase media.

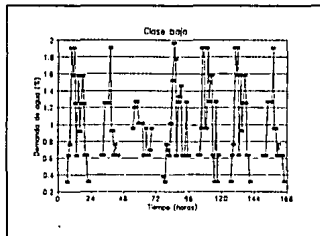


Lámina A.47. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Tapachula, Chis.

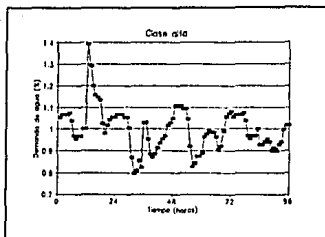


Lámina A.48. Variación de la demanda de agua, clase alta.

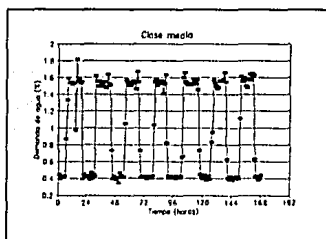


Lámina A.49. Variación de la demanda de agua, clase media.

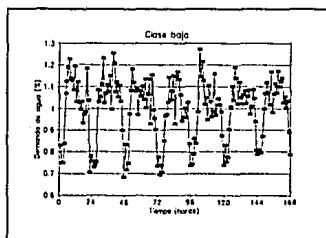


Lámina A.50. Variación de la demanda de agua, clase baja.

Hermosillo, Son.

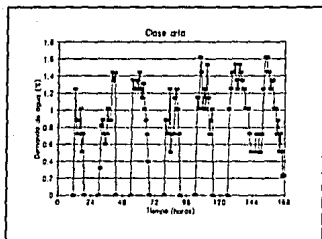


Lámina A.51. Variación de la demanda de agua, clase alta.

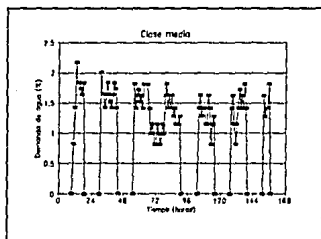


Lámina A.52. Variación de la demanda de agua, clase media.

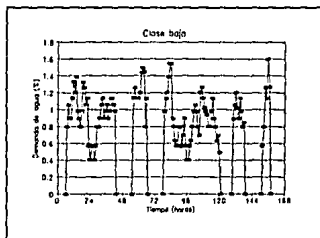


Lámina A.53. Variación de la demanda de agua, clase baja.