

U1289
v. 6
C. 1

C O N S I D E R A C I O N E S H I D R O L O G I C A S

S O B R E L A S S E Q U I A S (1)

Por

Basilio Espíldora Couso (2)

- (1) Trabajo presentado a las Jornadas Interdisciplinarias sobre la Sequía de la Universidad de Chile.
- (2) Ingeniero Civil. Jefe Sección Hidrología y Riego. Depto. de Obras Civiles de la Universidad de Chile.

CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS
SOBRE LAS SEQUIAS

Por

Prof. Basilio Espíldora Couso (x)

1.- INTRODUCCION.-

Las características hidrometeorológicas que están ocurriendo desde 1967 en Chile y otros países sudamericanos de la vertiente del Pacífico, están ocasionando un serio problema de suministro de agua de todavía incalculable trascendencia. Este hecho, induce a considerar ciertos aspectos científicos y técnicos de este problema con el objeto de dar a conocer su naturaleza y puntualizar ciertas acciones que deben desarrollarse con urgencia.

En estos días, creo que estamos mas conscientes que nunca, que el agua es uno de los recursos naturales más preciados por el hombre. Su multiplicidad de usos y la diversidad de actividades y problemas en que interviene, lo convierten en un elemento vital para la existencia de la vida en la Tierra y para asegurar el desarrollo de los pueblos.

El incremento de la población, con la consecuente expansión urbana, agrícola e industrial, y las modalidades de la vida moderna, han provocado en las últimas décadas una intensa demanda de recursos de agua. Esta demanda, se está incrementando a tasas crecientes y se estima que en 1990 el consumo de agua en el mundo se habrá duplicado en nuestro país no escaparía a esta tendencia.

El agua es un recurso, que aunque renovable en el tiempo, es limitado en cuanto a su disponibilidad total, y con él, debe satisfacerse una importante y creciente demanda en cantidad y calidad, proveniente de una amplia gama de actividades humanas altamente competitivas y en las cuales se requiere asegurar también, la eliminación parcial o total de los efectos nocivos y catastróficos provocados por los excesos de este elemento.

(x) Ingeniero Civil, Jefe de la Sección Hidrología y Riego del Departamento de Obras Civiles. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. U. de Chile.

La Hidrología interviene en la solución de estos problemas, por medio de la búsqueda y el desarrollo de nuevos y mejores conocimientos sobre la distribución, existencia y comportamiento del agua en la Tierra, permitiendo de esta manera evaluar y utilizar mas eficientemente los recursos hidrológicos. Al mismo tiempo participa en el diseño óptimo, seguro y económico de las obras de ingeniería hidráulica necesarias para un aprovechamiento y control del agua de acorde a las necesidades actuales y futuras.

La Hidrología, estudia y evalúa científicamente cada una de las partes y las interrelaciones de los distintos procesos que componen el llamado ciclo hidrológico. Debido a que este concepto del ciclo hidrológico es fundamental para comprender la distribución, circulación y existencia del agua, tanto en períodos de exceso como de escasez de la misma, pasaremos a dar una explicación general del ciclo del agua.

2.- EXPLICACIONES GENERALES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL CICLO HIDROLOGICO.

El ciclo hidrológico es un concepto que corresponde a un modelo o idealización del movimiento, distribución y circulación general del agua en nuestro planeta.

El ciclo hidrológico es un proceso continuo por medio del cual se produce el movimiento del agua desde la hidrósfera (océanos, mares, lagos, etc.) a la atmósfera, de la atmósfera a la litósfera (masas continentales), de la litósfera a la atmósfera e hidrósfera y así sucesivamente. Es decir, el vapor de agua almacenado en la atmósfera y que proviene del agua que se evapora desde los continentes y los océanos, puede condensarse e incorporarse nuevamente a la superficie de la Tierra a través del proceso de precipitación pluvial y nival; esta precipitación cae sobre los océanos, lagos, ríos, vegetación, montañas y valles. Parte de la precipitación que cae sobre la superficie del suelo, puede escurrir superficialmente sobre él hasta incorporarse a los ríos y lagos y de allí eventualmente llegar al mar, o bien, quedar retenida en las depresiones del terreno desde donde se infiltra y se evapora. Otra parte de la precipitación se infiltra, pudiendo quedar retenida en la zona de raíces de las plantas o bien infiltrarse más profundamente hasta incorporarse a las napas

subterráneas que eventualmente escurren a los ríos y al mar o permanecen prácticamente almacenadas. Finalmente ocurren los procesos de evaporación desde las superficies de agua libre (lagos, ríos, océanos), la evaporación de la precipitación retenida o interceptada por el follaje de la vegetación, la sublimación de las nieves y hielos, la evaporación de los suelos húmedos, y la transpiración de las plantas proveniente de parte del agua absorbida por sus sistemas radiculares. Debido a estos procesos, el vapor de agua que se genera se incorpora nuevamente a la atmósfera de donde previamente provenía, y de esta manera se cierra el ciclo del agua o ciclo hidrológico.

Tal como se ha explicado, el ciclo hidrológico parece un proceso simple. En la realidad, es un mecanismo altamente complejo en que intervienen una serie de fenómenos aleatorios y discontinuos, e intrincadas interacciones entre los océanos, la atmósfera y las masas continentales. Pueden ocurrir, como lo estamos hoy sufriendo en nuestro país, marcadas fluctuaciones y variaciones de cada uno de los elementos descritos, no solo regionalmente, sino a lo largo del tiempo, provocando períodos húmedos y períodos secos o sequías.

Para comprender dichas variaciones regionales y temporales, para determinar sus efectos en el suministro y disponibilidad de los recursos de agua y para señalar el uso eficiente cuando escasea dicho recurso, se requieren conocimientos y comprensión de los fenómenos que intervienen. Esta comprensión y estos conocimientos los proporciona la Hidrología y la Ingeniería Hidráulica.

3.- DEFINICION DE LAS SEQUIAS.-

Concentrémonos ahora a considerar específicamente el tema de esta presentación: las sequías.

Si se quiere abordar con criterio científico y técnico el estudio del fenómeno de las sequías, resalta de inmediato un problema de difícil solución: la definición del problema mismo, es decir, qué se entiende por sequía.

La sequía no es difícil de definirla en términos generales, pero cada usuario del agua y cada

disciplina científica, tiene su propia concepción y dimensión del problema, que cambia de acuerdo a las condiciones de explotación del recurso agua y a las variabilidades de la demanda del mismo.

Desde un punto de vista geofísico, el problema tiene relación con la climatología, la meteorología, la glaciología, etc.

El ingeniero y el hidrólogo, aborda y considera el problema de la sequía en términos de la deficiencia de la precipitación, de los caudales y del almacenamiento superficial y subterráneo del agua, analizando el conjunto de variables y parámetros que afectan a estos y otros fenómenos del ciclo hidrológico y el suministro mismo de los recursos hidráulicos en general.

El economista, se preocupa del impacto que ocasiona una sequía en el proceso económico regional y/o nacional, y de las posibilidades de subsidios y préstamos a las unidades económicas afectadas.

El agrónomo y el agricultor se preocupa del problema ligándolo principalmente a las necesidades de agua de los cultivos, y como éstas son variables según su tipo, condiciones de suelo, prácticas agrícolas, etapa de crecimiento y época del año, sus criterios de definición y evaluación serán necesariamente relativos y variables.

Desde el punto de vista legal, el fenómeno se evalúa en función de los problemas laborales, contractuales, de seguros y de las responsabilidades públicas y privadas que origina el fenómeno de la sequía.

Estos antecedentes serían suficientes como para tener en claro que la palabra "sequía", es un término necesariamente relativo y que no tendría una definición universal aceptable. Sin embargo, intentaremos arrojar un poco más de luz sobre el problema, pero sin pretender dar una nueva definición propia que se agregue al cúmulo de las ya propuestas; sólo nos limitaremos a comentar algunas definiciones.

Como ejemplo, tomemos la siguiente definición de sequía que ha propuesto el "Wheather Bureau" del Gobierno Federal de los E.E.U.U.: "Una sequía es una falta o deficiencia de lluvia tan grande y prolongada,

como para afectar adversamente la vida animal y vegetal de una región, y disminuir peligrosamente las fuentes de abastecimiento tanto para el uso doméstico como para la generación hidroeléctrica, especialmente en aquellas regiones donde normalmente la precipitación es suficiente para tales propósitos."

Esta definición y otras similares, son aceptables en líneas generales y cualitativas, siempre que se tenga en cuenta que en ciertas regiones los caudales superficiales y subterráneos pueden provenir de otras áreas y que en último término lo que importa en un estado de sequía, es el suministro directo del agua, independientemente de la fuente o la demanda.

Además, subsiste el problema de comparar diferentes períodos de sequía que pueden haber ocurrido en una región, y de aclarar y definir cuán prolongado e intenso debe ser dicho período de deficiencia, para poder hablar de una sequía, ya que ello variará de una región a otra y de un período de tiempo a otro. Esta observación ilustra el hecho de la necesidad de considerar conjuntamente factores e implicancias hidrológicas y económicas.

En resumen, se puede concluir de lo expuesto anteriormente, que el problema y definición de sequía es un concepto más o menos relativo desde el punto de vista práctico, ya que dependería de las necesidades propias de agua de la región, de sus características hidrometeorológicas normales, de las actividades económicas y productoras y del desarrollo de la técnica y de las obras hidráulicas que permiten un control más efectivo de las variaciones propias del ciclo hidrológico natural.

Por lo tanto, parece ineludible e imprescindible sentar las bases para una definición y tratamiento objetivos del fenómeno, que permita la evaluación cuantitativa de su extensión y distribución regional, y de su intensidad, duración y recurrencia, y que de alguna manera se tenga en cuenta los factores mencionados en el párrafo precedente.

Una definición objetiva de sequía, implica que exista un criterio y una metodología tal, que diversas personas al interpretar esa definición lleguen a los mismos resultados utilizando los mismos datos básicos. Veamos qué factores deben contemplarse para lograr

este fin.

Desde un punto de vista hidrológico, una sequía debe considerarse como un déficit de suministro de agua tanto desde el punto de vista de su distribución regional como en el tiempo, y en relación a las condiciones que imperan normalmente. Por lo tanto, en el estudio y caracterización de las sequías es necesario considerar su extensión territorial, su intensidad o magnitud, su duración, su iniciación y su recurrencia.

Para llegar a definir un período de sequía, deben primeramente establecerse los fenómenos que son relevantes y posteriormente entrar a seleccionar el conjunto de variables que mejor los definen y caracterizan.

Hidrológicamente, deben tenerse en cuenta los siguientes fenómenos: la precipitación registrada, la evaporación y la evapotranspiración, los caudales superficiales y subterráneos, y el agua almacenada natural o artificialmente. Posteriormente deberá decidirse si considerar valores locales o índices regionales, a qué período de tiempo se deberán referir dichos valores y en qué unidades expresar las cifras correspondientes. En todo caso, debido a la naturaleza aleatoria de los fenómenos hidrológicos, el concepto fundamental a aplicar para lograr una caracterización y definición objetiva de los períodos de sequía, debe ser las propiedades estadísticas o probabilísticas de las secuencias o series de tiempo de las variables hidrológicas mencionadas. A este respecto se han propuesto algunos parámetros, índices y métodos para definir cuantitativamente una sequía, pero por corresponder ello a un tema muy especializado creo que queda fuera de los objetivos de esta presentación entrar a especificarlos. Sin embargo, creo que los que nos dedicamos a estos temas debiéramos comenzar a estudiar y caracterizar los fenómenos de sequía en Chile, teniendo en cuenta algún índice que exprese además la capacidad instalada actual y potencial de nuestras diversas regiones, para suplir las demandas de nuestros recursos hidráulicos.

4.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PROCESOS DE SEQUIA.-

Las causas aparentes que explican las sequías, se pueden dividir en tres grandes grupos: factores relacionados con la circulación general de la atmósfera, factores relacionados con la circulación de las masas oceánicas y factores propios de las áreas continentales.

Existe una tendencia generalizada a buscar la explicación de las sequías en distorsiones anormales de la circulación general de la atmósfera. Por ejemplo en nuestro país, se ha dicho que se está manifestando un centro de presiones atmosféricas anormalmente altas en el Pacífico, que en condiciones normales, se observa en latitudes menores y con menor intensidad. Estas y otras anomalías de la circulación atmosférica, suelen ocasionar una baja en el número de eventos de precipitación y un menor rendimiento pluviométrico de las correspondientes tormentas. Sin embargo, aunque cualquier período de sequía se manifiesta en la circulación de la atmósfera, nada se sabe con seguridad del porqué se producen estas anomalías y cuál es verdaderamente la causa primaria.

Es fácil comprender la implicancia de los factores relacionados con la circulación de las masas oceánicas en el fenómeno de las sequías, si se piensa que mediante los procesos de evaporación de los océanos, se genera prácticamente la totalidad de la humedad atmosférica que eventualmente se convierte en precipitación sobre la superficie de la Tierra. Por ejemplo, si las condiciones de temperatura de los océanos varían, se modificarán los procesos de evaporación sobre ellos y consecuentemente se producirían variaciones en la incorporación de vapor de agua a la atmósfera, lo que influirá en las posibilidades y potencialidades de precipitación. Esta relación causa - efecto, esta más o menos diferida en el tiempo y por lo tanto, representa una interesante perspectiva para que en el futuro se puedan tener mayores antecedentes para predecir el régimen pluviométrico a largo plazo.

Las condiciones térmicas sobre áreas continentales, especialmente en regiones con glaciares, hielos y nieves eternas en procesos de avance o retroceso, pueden preceder o producir ciertas condiciones anómalas del régimen de precipitaciones y de otros fenómenos del ciclo hidrológico. De esta manera se producen mecanismos de interdependencia con influencia mutua, que pueden constituir otro de los factores que intervienen en las sequías.

Podríamos aún agregar, que las causas citadas no deben considerarse ni tratarse aisladamente, sino que la explicación final puede encontrarse en una combinación no comprendida todavía de los tres factores

causales anteriormente citados. Aún más, sabemos que las anomalías atmosféricas, oceánicas y continentales mencionadas, tienen una interdependencia mutua con las variaciones del balance neto de energía sobre el planeta, energía esta que en última instancia proviene del sol, pero que es modificada fundamentalmente por la atmósfera y los factores que sobre ella influyen.

Las sequías pueden ser relativamente locales, confinarse a una determinada hoya hidrográfica, o pueden abarcar extensas zonas continentales. Sin embargo, cuando ellas son muy extensas regionalmente, tienden a ser muy severas sólo en algunas partes del área afectada.

Las regiones que son más susceptibles a las sequías son aquellas en que las variaciones interanuales de la precipitación son mayores; aún más, en aquellas zonas en que el promedio a largo plazo de la precipitación anual es más bajo, la variabilidad interanual de las lluvias es más grande.

En general, la intensidad de un período de sequía no es independiente del tamaño del área afectada. En efecto, estudios recientes han comprobado que los caudales por unidad de superficie de una cuenca en períodos de sequía, es menor para áreas pequeñas que para áreas grandes. Por otra parte se ha comprobado que es muy improbable y prácticamente imposible que sólo ocurran sequías muy intensas en áreas muy chicas y que mientras más intensa es la sequía, ésta abarcará, con distintos grados de magnitud lógicamente, regiones continentales más amplias. En todo caso, factores topográficos, geológicos, de vegetación y cambios y obras introducidas por el hombre (obras de drenaje, urbanizaciones, reforestaciones, roces de bosques, etc.), influyen en mayor o menor grado la intensidad de las sequías en una región dada.

Durante los períodos de sequía, la desviación de las condiciones normales es generalmente mayor para los caudales superficiales que para la lluvia. Estos períodos, usualmente se ven agravados por temperaturas sobre lo normal, que ocasionan una disminución anormal de la humedad de los suelos y un temprano agotamiento de ella, de las reservas de nieve en la Cordillera y de algunas napas subterráneas poco potentes o de recarga eventual. Sin embargo, en general, debido a la magnitud y

características de los embalses y napas subterráneas en algunas cuencas, no es común su agotamiento ya que estas napas presentarán una mayor inercia y reaccionan en forma más atenuada y diferida a los efectos del déficit de precipitaciones, siempre que la magnitud y ritmo de las extracciones artificiales, o la prolongación excesiva del período de sequía, no excedan sus potencialidades físicas de recarga y recuperación natural. Algo similar puede decirse con respecto a las zonas cubiertas por glaciares y nieves eternas, que representan un gran respaldo en períodos de sequía por la gran magnitud de volumen de agua que almacenan como un verdadero embalse y que se hace disponible para el consumo, en aquella época del año en que coinciden las mayores demandas de agua. Sin embargo, estas reservas pueden haber disminuido peligrosamente debido a períodos secos anteriores y concurrentes, lo que a su vez influye en períodos secos futuros. Es la situación que estamos viviendo este año en nuestro país.

Las sequías deben considerarse como variaciones extremas del ciclo hidrológico y el estudio de sus mecanismos de generación es una extensión del estudio mismo de dicho ciclo. Sin embargo, este estudio presenta un elemento adicional y de mucha importancia, que se refiere a su probabilidad de ocurrencia.

La probabilidad de ocurrencia de un evento hidrológico, es un elemento que interviene y se considera en el planeamiento, diseño y explotación de cualquier obra o sistema hidráulico para el control y aprovechamiento de los recursos de agua. La información necesaria para establecer estas probabilidades de ocurrencia, proviene de la extrapolación estadística de los datos hidrológicos previamente registrados; de ahí la trascendencia de la instalación y operación de estaciones hidrológicas y meteorológicas para obtener los datos necesarios para estos análisis. Este tipo de extrapolaciones son razonablemente adecuados en el caso de que se refiera a períodos húmedos o de crecidas de un río. Sin embargo, para el caso de períodos secos o de sequías, surgen una serie de problemas y de inseguridades, debido a la naturaleza misma de estos procesos.

En efecto, los períodos de sequía, se desarrollan y persisten por períodos que pueden varían de semanas a años, y por lo tanto, las series de datos de observaciones que se disponen en la práctica son usualmente muy cortos para registrar un número suficiente de períodos

secos, en una amplia gama de valores físicamente posibles. Ello dificulta enormemente la extrapolación de estas observaciones. Esto evidentemente no sucede con los períodos húmedos o crecidas, en que se pueden registrar varios de estos sucesos en un año. Además en los análisis estadísticos de extrapolación a que hemos hecho referencia, puede existir la incertidumbre de la posibilidad de tendencias climáticas a largo plazo.

Finalmente, existe otra marcada particularidad de las sequías cuando se las compara con las crecidas de un río o un período húmedo. Una crecida en un río es un suceso claramente distinguible, con un comienzo y un término totalmente definido y claro. Una sequía por el contrario, podríamos considerarla como un "no - suceso", que no tiene una iniciación fácilmente distinguible y que como depende en mayor medida de las condiciones meteorológicas e hidrológicas pasadas, es necesario un período de tiempo más o menos prolongado para constatar su presencia y sus efectos. La terminación de un período de sequía también puede ser de difícil constatación, porque dicho período puede ser temporalmente interrumpido por ocasionales períodos relativamente más húmedos o lluviosos.

5.- ALGUNOS ANTECEDENTES HISTORICOS SOBRE LAS SEQUIAS EN CHILE.-

Hasta la fecha, no existen estudios completos y bien fundamentados que revelen algún cambio significativo en las características climáticas de Chile. El tipo, duración y calidad de los datos hidrometeorológicos registrados en nuestro país, sólo permitirían efectuar los estudios pertinentes en una forma relativamente poco precisa y en poquísimos lugares del territorio. Es por lo tanto prematuro y sin fundamento sólido, hablar de ciclos de sequía, de avance del desierto, de influencia de las manchas solares, etc., temas éstos que por lo demás son muy discutibles y en los cuales no se ha llegado a un criterio uniforme ni a una dilucidación definitiva en la comunidad científica internacional. Como antecedente, ilustrativo, vale la pena recordar que en diversas partes del mundo se han sugerido más de cien supuestos ciclos diferentes para los períodos secos, con duraciones variables entre uno y seiscientos cuarenta y cuatro años, y que existen estudios que pretenden demostrar la influencia de las manchas

solares en períodos de sequía, pero que existen un número análogo de investigaciones que revelan lo contrario.

Sin embargo, existen antecedentes históricos generales, que permiten por lo menos verificar que han existido en nuestro país intensos períodos de sequía. Como pudiera parecer interesante e ilustrativo considerar este año en una perspectiva, por lo menos cualitativa con respecto a otros años secos de nuestra historia, me voy a permitir basarme fundamentalmente en el notable: "Ensayo histórico sobre el clima de Chile", de Dn. Benjamín Vicuña Mackenna, editado en 1877, para darles una reseña de nuestras sequías anteriores al año 1866, que es cuando comienzan las estadísticas pluviométricas confiables en Chile.

Uno de los objetivos del citado libro, fue poner de relieve la extrema regularidad y lo invariable de nuestro clima, en que suceden años de gran pluviosidad y de sequías prolongadas e intensas, pero que no alteran el movimiento secular de nuestro clima. Sin embargo, poco antes que Vicuña Mackenna editara su libro en 1877, y de los devastadores temporales de ese año, la opinión pública de Santiago se lamentaba del período de ocho años de sequía que estaban sufriendo, y se oían las consabidas frases de: "El desierto nos invade" y "¿Cómo combatir el desierto?". Pero veamos qué ocurrió en nuestra historia.

Ya Pedro de Valdivia escribía desde Santiago a Hernando Pizarro que:..."tiene esta tierra cuatro meses de invierno, no más, que en ellos, que no es sino cuando hace cuarto de luna, que llueve uno o dos días, todos los demás hacen lindos soles". Desgraciadamente, durante el primer siglo de nuestra colonización, los períodos de sequedad, que debieron manifestarse como en los que le sucedieron, no dieron margen, empero, a ser conservados en anales escritos, porque no causarían sino leves daños y privaciones pasajeras en relación a las preocupaciones guerreras de los conquistadores y debido al incipiente desarrollo agrícola del país. Pero es sintomático el hecho, que a la llegada misma de los españoles al valle del Mapocho, éste debió distribuirse en turnos o "bateas" dada su relativa escasez, lo que ocasionaba según las crónicas: "continuos litigios y hurtos". Existían ya entonces los "diputados de aguas", que hacían tal distribución.

El siglo XVII es también escaso en información sobre las "secas", como entonces se les llamaba a las sequías, a pesar de las acuciosas investigaciones de Vicuña Mackenna en los archivos "descalabrados y truncos" del Cabildo de Santiago, su principal fuente de información.

Sin embargo, en la primera mitad del siglo XVII, el cobrador de la Inquisición en Chile, Dn. Tomas de Santiago, empeñado en enviar al Santo Tribunal de Lima el producto de la venta de los bienes de los que habían sido condenados, se lamentaba que en los años 1637, 1638 y 1639: "no se había cobrado ni blanca, por las secas". Aunque no da mayores antecedentes, Vicuña Mackenna comenta que en la segunda mitad de dicho siglo, Chile fue sólo "una capellanía, una rogativa y una seca".

Se tiene también información, que el siglo XVIII se inició igualmente con "secas prolongadas y asoladoras". Así fué que en días tan avanzados del invierno como el 7 de Julio de 1705, se decidió en el Cabildo de Santiago, de hacer una rogativa pública por la "esterilidad de las lluvias". Estas rogativas públicas, las consecuentes procesiones religiosas y los registros del Cabildo, constituyen el principal "pluviómetro" que históricamente disponemos para estudiar nuestro clima y nuestras sequías, por lo menos hasta mediados del siglo pasado.

En Agosto de 1717, quedó registrado, que el Alcalde de aguas, Dn. Juan de Tordecillas, debió poner nuevamente al escaso Mapocho, en régimen de turnos por "bateas" y marcos entre los chacareros. Sin embargo, y a pesar que el Obispo de Santiago le entregara como "ayuda" la reliquia del dedo supuestamente milagroso de San Saturnino, a comienzos del año siguiente (1718), el Cabildo debió nuevamente acordar recurrir a la Patrona de la ciudad para que se hiciera cargo de la nueva sequía que se estaba presentando.

Fué precisamente ese año, y en el cual aparentemente culminó un prolongado período de sequía, que surgió la primera idea de traer al valle del Mapocho, las aguas fertilizantes del Maipo; pero deberían todavía correr 103 largos años para que después de múltiples vicisitudes corriera el agua por el actual Canal San Carlos.

En el año 1743 se registra nuevamente una sequía, aparentemente tan intensa, que el Escribano del Rey se lamentaba entonces;... "del azote de la Divina Justicia", que ocasionaba pestes y del orden de quince muertos diarios en Santiago.

En 1770 comienza en Chile un prolongado período de sequía; ese año no llovió más de cinco días en Santiago. Recordemos, como referencia aproximada, que este año en Santiago han habido once días de lluvia. La sequía se prolongó en 1771, y en las actas del Cabildo han quedado registradas las desesperadas rogativas que se hicieron en Agosto y Septiembre de ese calamitoso año. El fenómeno continuó en 1772 y 1773, en que por la extrema escasez de pastos para alimentar las mulas que transportaban el pescado a Santiago, hubo que pedir licencia al Obispado para poder comer carne en Cuaresma.

Pasó luego el turno al año 1774, que fué uno de los años más secos de ese "siglo de rulo", y así siguió la sequía hasta 1777 en que según consta: "por la esterilidad de los campos y por la pérdida y muerte de ganado", se hicieron las acostumbradas rogativas.

Todavía en 1779 continuaba la sequía, pero esta vez los habitantes de Santiago tuvieron un impulso menos místico y más práctico, cual fué la de vaciar en el Mapocho las aguas del río Colorado de la zona cordillerana de la cuenca dle Maipo. Es interesante anotar que una idea muy similar a ésta fué considerada técnicamente hace pocos años atrás y hoy se está reconsiderando para solucionar los futuros problemas de demanda de agua ocasionados por la incesante expansión urbana del sector oriente de Santiago.

Y esta sequía que se inició en 1770, se prolongaba todavía en 1781 y en el año 1782, en el cual, según consta casi caricaturescamente en un acta del Cabildo, el Domingo 2 de Mayo de ese año, se dejó de decir misa en la Iglesia Parroquial de Renca "porque no hubo agua para las vinajeras". (Claro que cabe la posibilidad de que haya sido una hidrológica disculpa del señor cura para querer beber el vino solo)

A pesar que en 1783 sobrevino uno de los años más lluviosos y desastrosos de ese siglo, el

período de sequía continuó en 1784 con una notable escasez de agua que ocasionó "serios problemas sanitarios y de abastecimiento" y las consabidas rogativas religiosas.

Aparentemente los años que siguieron fueron relativamente menos secos, pero el problema hizo crisis nuevamente en 1791, 92 y 97, año este último en que los aflijidos santiaguinos, no sabiendo ya a que santo recurrir, porque en los años precedentes se "había implorado sucesivamente a todos los santos criollos", volvieron ahora los ojos por primera vez a un santo nuevo y extranjero: San Isidro, labrador y patrono de Madrid.

El siglo XIX se inició, hasta la era de la Reconquista, con un período moderado de lluvias, con tendencia general más bien a la escasez que al exceso. Pero el período de 1819 a 1822 fué de grandes lluvias.

Entre las sequías más memorables y desastrosas de la primera mitad del siglo pasado, podemos citar las que ocurrieron en 1825 y 1826, las de los años 1830, 31 y 32, en que solamente en las provincias de Atacama y Coquimbo murieron poca más de medio millón de animales y en que los fundos del valle central "no sólo cambiaron de dueño, sino de nombre". Podemos mencionar también la sequía del año 1835, la del período 1838 a 1840, la del año 1844 y la del bienio 1847, 48, en que como en otros años secos, nevó en Santiago.

Y así llegamos a los años de estadística pluviométrica confiable, por lo menos en Santiago.

En el último tercio del siglo pasado, se registraron cinco años con precipitaciones comprendidas entre 120 y 170 mm y catorce años con menos de 250 mm de precipitación anual. Recordemos que la precipitación anual promedio de Santiago es de aproximadamente 360 mm, que el año pasado llovió 173 mm y que hasta la fecha de este año ha llovido aproximadamente 70 mm.

En el período 1869 a 1876, es decir ocho años, se produjo una sequía continuada que provocó casi una histeria colectiva en Santiago y que como ya

dijimos, hacía exclamar a los habitantes de Santiago: "el desierto nos invade". Sin embargo, Benjamín Vicuña Mackenna se preguntaba en 1877: "¿Que haría la administración política del país con una seca de tres años como las antiguas?"; "¿Cuántos ministerios quedarían en seco, con la seca?".

En el presente siglo, se han observado en Santiago, dos años con precipitaciones menores que 100 mm, (1924 y 1968 hasta la fecha), siete años con precipitaciones comprendidas entre 100 y 200 mm y nueve años con precipitaciones comprendidas entre 200 y 250 mm.

Finalmente, debemos decir que el año más seco registrado en Santiago desde 1849 ha sido el año 1924 con 66 mm de precipitación y que si la tendencia de este año continúa, puede estimarse que los dos años consecutivos más secos que se han registrado en la zona central del país, corresponden al bienio 1967-1968.

No ha sido mi intención al dar esta reseña histórica, quitarle gravedad a la sequía actual, muy por el contrario. Pero quisiera que quedara en claro que el fenómeno de las sequías en Chile es en menor o mayor grado un problema ancestral que sólo nos debe inducir a establecer desde hoy una política coherente de evaluación, desarrollo y control de nuestros recursos hidráulicos para asegurar nuestro tan deseado desarrollo y quizá nuestra supervivencia.

6.- NECESIDADES Y TIPO DE INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON LAS SEQUIAS.-

Existen innumerables ejemplos en todo el mundo, y hoy lo estamos constatando en nuestro país, que el fenómeno hidrometeorológico de las sequías es uno de los menos comprendidos, descritos y explicados en esta disciplina. Sus causas, propiedades y características no se conocen con precisión, lo que imposibilita efectuar predicciones sobre su iniciación, intensidad y término, con un mínimo razonable de seguridad.

En gran parte, este desconocimiento se debe a la falta de recopilación científica básica, pero también se debe a la manera como ésta información ha sido obtenida, procesada, interpretada e interrela-

cionada con otras. La dificultad en ello ha estribado, sin lugar a dudas, en el enorme volumen y heterogeneidad de información potencial, a la falta de metodologías científicas claras, a la falta de conciencia continuada sobre la trascendencia de estos fenómenos y a la escasez de recursos estables destinados a investigaciones sobre estos fenómenos.

Sin embargo, estos hechos no deberían tener hoy la misma validez de ayer. En efecto, el advenimiento y uso casi generalizado de nuevos computadores digitales, facilitan enormemente el procesamiento e interpretación inicial del volumen de información que hoy día se recopila en relación a los fenómenos hidrometeorológicos y geofísicos en general, y además posibilitan la aplicación de ciertas técnicas de análisis que ayer eran antieconómicas o imposibles de aplicar. Por otra parte, el campo de la Hidrología, de la Meteorología y de otras Ciencias de la Tierra, se ha enriquecido enormemente en los últimos años con nuevos conocimientos y sobre todo con nuevas metodologías y sistemas de observación y medición a gran escala. Finalmente, las intensas y crecientes demandas de agua que se están produciendo en todo el mundo, están provocando una seria crisis de conocimientos que hace imperativo desarrollar hoy la ciencia para tener mañana las tecnologías que permitan hacer frente a esas demandas.

¿Pero qué tipo de estudios e investigaciones se requieren con urgencia en relación al fenómeno de las sequías? ¿Cuáles deben ser sus objetivos? A este respecto, podríamos hacer una larga lista, pero que se puede resumir en cuatro aspectos fundamentales:

A Largo Plazo.-

a.- Describir objetivamente y cuantitativamente las sequías registradas anteriormente, considerando sus características de intensidad, extensión territorial, duración e iniciación. Este tipo de estudios es el más avanzado en algunas regiones del mundo.

b.- Determinar y explicar científicamente, las causas físicas que ocasionan las sequías, interrelacionando los factores de tipo meteorológico,

atmosférico, hidrológico, oceanográfico, etc., que intervienen y que han intervenido en sequías anteriores.

c.- Desarrollar metodologías basadas en las propiedades probabilísticas y físicas del fenómeno, que permitan predecir su iniciación, intensidad, duración y recurrencia.

d.- Descripción de las sequías desde el punto de vista de sus variadas consecuencias económicas, legales y sociales, y proposición de métodos para hacer frente a estos problemas de acuerdo a las condiciones y naturaleza de la región y del país.

A Corto Plazo.-

Solamente desde el punto de vista hidrológico podemos mencionar algunos estudios o investigaciones aplicadas, cuyo objetivo fundamental debiera ser aportar soluciones para salvar en parte algunos de los efectos directos de las sequías:

a.- Estudiar la factibilidad de reducir las pérdidas por evapotranspiración de las cajas de los ríos y de los márgenes de los cauces naturales y artificiales, mediante el control y/o la eliminación de la vegetación parásita ribereña.

b.- Considerar la factibilidad y los procedimientos para modificar la reflectividad o albedo de los campos de nieve y glaciares, para incrementar artificialmente su derretimiento más allá de lo logrado por las condiciones ambientales usuales y eventualmente reducir las pérdidas por evaporación y sublimación de dichos recursos.

c.- Emplear nuevas y mejores técnicas de predicción de escurrimientos, sobre todo en cuencas cordilleranas con régimen de deshielo, con el fin de proporcionar información oportuna sobre los recursos hídricos de las zonas más afec-

tadas por la sequía para que puedan tomarse las decisiones técnicas, políticas y administrativas que se requieran.

Estos puntos que parecen tan obvios, no han sido resueltos en forma integral, coordinada y terminante, y a ello se debe, entre otras cosas, la actitud psicológica que tiene el hombre común frente a este problema y el cúmulo y grado de versiones erróneas y risibles que muchos de nosotros nos ha tocado oír en este último tiempo.

Los objetivos e implicancias del tipo de investigaciones mencionadas, no merecen tampoco mayor análisis dada su real evidencia. Baste decir que ellas, permitirían evaluar racionalmente el impacto económico y social de este tipo de fenómenos, permitirían determinar los riesgos y daños, el monto y tipo de inversiones y el conjunto de decisiones y programas a nivel regional y nacional, que habría que organizar y poner en marcha a corto y a largo plazo, para aminorar y hacer frente a este tipo de fenómenos naturales.

Sin embargo, no debe dejar de reconocerse que la magnitud de los puntos planteados, hacen de este problema, uno de los más difíciles de abordar y resolver en el campo de las Ciencias de la Tierra.

7.- INFORMACIONES QUE CONVIENE RECOPI-
LAR DURANTE PERIODOS DE SEQUIA.-

Es evidente, que durante los periodos de sequía, es necesario poner en práctica una serie de medidas para paliar sus efectos. Nuestro país está haciendo un gran esfuerzo al respecto y

todos nosotros sabemos, en general, cuáles deben ser esas medidas y estamos siendo testigos de cómo se ha movilizadado y organizado las instituciones públicas y privadas, los usuarios del agua y el público en general, para lograr esos objetivos.

Sin embargo, debido a la naturaleza aleatoria, a la recurrencia más o menos extensa y al desconocimiento científico que se tiene de los períodos de sequía, se hace imprescindible aprovechar la ocurrencia de estos fenómenos, para llevar a cabo también, una serie de acciones que permitan, no sólo caracterizar el fenómeno que se observa, sino que recopilar todo tipo de información al respecto para ir dilucidando las actuales incógnitas, pero sobre todo, para poseer los elementos de juicio para tomar decisiones oportunas que permitan minimizar los efectos de sequías similares en el futuro.

Me referiré brevemente a continuación, a algunas de estas acciones que debemos intensificar o iniciar para que en resumen, la calamidad que presenta una sequía como la que estamos hoy sufriendo, permita extraer experiencia para el futuro. Esta experiencia debe entenderse y enfocarse, desde el punto de vista institucional, económico, social y científico-técnico.

Se debiera revisar el actual marco institucional de los diferentes organismos que directamente tienen relación con el agua y analizar objetivamente si se está disponiendo de los recursos necesarios para lograr su eficiencia y operatividad coordinada y adecuarlos para proporcionar información oportuna y completa y permitirles llevar a cabo medidas de solución para la evaluación, control y óptimo aprovechamiento de nuestros recursos hídricos, sobretodo en períodos de escasez crítica como el que estamos sufriendo.

Es imprescindible que se lleven a cabo estudios serios y completos sobre los efectos económicos y financieros que provoca en todos los sectores de la producción, los períodos de escasez de agua. Estos antecedentes son fundamentales para evaluar la necesidad de impulsar a corto plazo una política definida y consciente de desarrollo

y control de nuestros recursos hidráulicos. Una tarea análoga debe llevarse a cabo para establecer los efectos de las sequías en el campo social, legal y laboral, de manera que en conjunto con los antecedentes esencialmente económicos, se puedan establecer normas y criterios de procedimiento para el futuro.

En el campo estrictamente científico-técnico, deben desarrollarse también diferentes acciones. Es urgente que grupos de científicos competentes se aboquen a caracterizar las condiciones meteorológicas regionales y locales, las condiciones oceánicas y las posibles anomalías de la mediana y alta atmósfera, que precedieron el período de sequía y las que ocurrieron durante y después de dicho fenómeno. Antecedentes como éstos, irán conformando la información necesaria para eventualmente poder predecir dichos períodos por lo menos a mediano plazo.

Conjuntamente, debe llevarse a cabo un inventario completo de instalaciones meteorológicas e hidrológicas seleccionadas y los datos e informaciones que deben recopilarse, procesarse y llevarse al día, para poder predecir oportuna y adecuadamente en el futuro los efectos a corto plazo de una sequía y los caudales que pueden esperarse en diferentes zonas, durante dichos períodos.

Relacionado con estas medidas, estimo que sería de gran importancia tomar lo antes posible aerofotografías de la Cordillera de la región actualmente afectada por la sequía, con el objeto de conocer como se presenta la acumulación de nieve al comienzo del período de deshielo de los ríos, en un año tan seco como el presente. Este antecedente, además del interés científico que presenta, permitiría en el futuro tener un punto de comparación para poder predecir los caudales de deshielo de los ríos, que pueden esperarse que escurran cuando esté ocurriendo otro año seco.

Ojalá podamos en un futuro próximo reunirnos nuevamente como lo estamos haciendo en estos días, no para hablar de principios generales, lamentarnos de lo que está pasando y sólo proponer

líneas futuras de acción, sino para hacer un resumen práctico de nuestras experiencias y de las soluciones objetivas y concretas que ya hayamos estudiado, para estar preparados a enfrentar y minimizar los efectos de sequías como éstas, que con seguridad seguirán ocurriendo en el futuro en nuestro país.

Santiago, 8 de Octubre de 1968.

