



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

"CULTIVO EXPERIMENTAL DE Tilapia zilli EN UN SISTEMA SEMICE-  
RRADO INTENSIVO, EN EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO, -  
BAJA CALIFORNIA."

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O

Universidad Autónoma de Baja California



ENS008907

PRESENTA:

JUSTO SANDOVAL GONZALEZ

ENSENADA, B.C., ABRIL DE 1984.



BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA

## RESUMEN

Tomando en consideración el excedente de vapor endógeno que no es utilizado en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto - Baja California, se llevó a cabo un proyecto titulado "USOS ALTERNOS DE LA ENERGIA GEOTERMICA RESIDUAL".

Dicho proyecto comprendió varias disciplinas a desarrollar, donde una de ellas fué la realización de este trabajo, el cual consistió en construir una infraestructura de un sistema semicerrado intensivo experimental, utilizando el vapor residual como fuente calorífica.

Terminada esta fase (construcción), se seleccionó a la especie Tilapia zilli, para llevar a cabo la comprobación del sistema, donde se determinó el crecimiento poblacional en peso y longitud hasta la edad de tres meses, utilizando la ecuación  $W = aL^b$ ; determinándose a la vez el factor de conversión de alimento en el mismo tiempo, y en subsecuencia se determinaron las variables físico-químicas de la poza -- como T°C, O<sub>2</sub>, pH, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>.

Los resultados obtenidos de crecimiento poblacional y factor de conversión de alimento de Tilapia zilli, fueron satisfactorios con respecto a cultivos intensivos tradicionales.

En lo que corresponde a los resultados de los parámetros físico-químicos obtenidos en la poza experimental, su comportamiento se mantuvo dentro de los rangos óptimos para la especie.

Como conclusión de este trabajo, se puede afirmar que el vapor geotérmico residual de Cerro Prieto, presenta un potencial energético para el desarrollo acuacultural en el Valle de Mexicali.

"CULTIVO EXPERIMENTAL DE Tilapia zilli EN UN SISTEMA SEMICE  
RRADO INTENSIVO, EN EL CAMPO GEOTERMICO DE CERRO PRIETO, -  
BAJA CALIFORNIA."

T E S I S  
QUE PRESENTA:  
CESAR AUGUSTO SANDOVAL GONZALEZ

Aprobada por :

---

Presidente del Jurado  
Oc. Victor Gendrop Funes

---

Sinodal Propietario  
Oc. Carlos Granados Machuca.

---

Sinodal Propietario  
Oc. Eliseo Almanza Heredia.

---

Sinodal Suplente  
Oc. José Antonio E. Almanza H.

---

Sinodal Suplente  
Oc. René Islas Oliveres.

## AGRADECIMIENTO

Hago patente mi agradecimiento a la Compañía Geología y Minería, S.A., y a la Comisión Federal de Electricidad -- por haberme permitido realizar el presente trabajo dentro - del PROYECTO USOS ALTERNOS DE LA ENERGIA GEOTERMICA RESIDUAL.

De la misma manera doy mi agradecimiento al Ing. Arturo Samperio Peniche, y a mi esposa por su apoyo incondicional, así como también aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de éste trabajo.

## I N D I C E

| CAPITULO |  | PAGINA |
|----------|--|--------|
| I        | Introducción y antecedentes  | 1      |
| II       | Objetivos  | 5      |
| III      | Descripción del area de estudio  | 5      |
| IV       | Materiales y Métodos   | 8      |
|          | A).- De diseño, construcción, operación<br>y mantenimiento del sistema | 8      |
|          | B).- Modelo experimental para la compro-<br>bación del sistema         | 26     |
| V        | Resultados   | 33     |
| VI       | Discusión  | 43     |
| VII      | Conclusiones   | 54     |
| VIII     | Recomendaciones  | 55     |
| IX       | Referencias  | 56     |

## INDICE DE TABLAS

|                  |   | PAGINA |
|------------------|---|--------|
| Tabla I          | Valores de peso y longitud de <u>Tilapia zilli</u> .  | 34     |
| Tabla II         | Factor de conversión de alimento durante los 75 días.   | 37     |
| Tabla III-A,B,C, | Mediciones de máximos y mínimos de temperatura ambiental, y temperatura en el estanque durante los 75 días.   | 38-40  |
| Tabla IV         | Valores físico-químicos, de muestreo por semana durante los 75 días.  | 42     |
| Tabla V          | Tabla de medias de peso y longitud, especificadas en Santee Ca., y Cerro Prieto.  | 45     |
| Tabla VI         | Tabla comparativa de los resultados físico-químicos obtenidos en Cerro Prieto de los rangos óptimos y rangos máximos de tolerancia - subletal para <u>Tilapia zilli</u> . | 53     |

## INDICE DE FIGURAS

|        |   | PAGINA |
|--------|---|--------|
| Fig. 1 | Localización del area de estudio.   | 7      |
| Fig. 2 | Prototipo de estanquería.   | 10     |
| Fig. 3 | Corte transversal del fondo de los estanques.                             | 12     |
| Fig. 4 | Corte de taludes, levantados perim <u>e</u> trales, radiales y centrales. | 14     |
| Fig. 5 | Detalle del armado de los muros en la zona de colecta.                    | 16     |
| Fig. 6 | Sistema de control de niveles de agua en cada cuadrante de los estanques. | 17     |
| Fig. 7 | Fachada del intercambiador de calor de vapor geotérmico.                  | 20     |
| Fig. 8 | Diagrama de flujo de entrada de agua, filtración y calentamiento.         | 21     |
| Fig. 9 | Detalles del filtro biológico.  | 24     |

- Fig. 10 Gráfica de comportamiento poblacional. 36
- Fig. 11 Gráfica de Factor de conversión de alimento (FCA) de Tilapia zilli durante los 75 días de experimentación en Cerro Prieto. 48
- Fig. 12 Gráfica comparativa de temperaturas ambientales y de la poza controlada por medio de un intercambiador de calor de vapor geotérmico, con referencia de rangos óptimos y tolerancia para Tilapia zilli. 51

## I. INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

El Campo Geotérmico de Cerro Prieto, es el yacimiento más importante de energía geotérmica en todo el país, descubierto hasta el momento (Comisión Federal de Electricidad - 1978).

Dicha energía es proveniente de fluidos endógenos, los cuales son utilizados para la generación de energía eléctrica, por medio de turbinas de vapor.

La energía es descubierta por medio de perforaciones geotérmicas donde ya realizada la perforación, y descubierto el yacimiento energético, es extraído del subsuelo. Antes de llegar a la planta generadora, es dividida por medio de un separador de fluidos, separando el vapor seco del agua caliente hipersalina subterránea.

El agua salada es mandada a unas lagunas de evaporación y el vapor seco es conducido a la planta generadora de energía eléctrica.

Dichos yacimientos contienen un potencial de energía calorífica y de presión hasta de 150°C, y 100 libras por pulgada cuadrada respectivamente, lo que lo hace factible utilizar para otros fines que no sean precisamente el de generar electricidad.

Como producto de lo anterior se generó el proyecto -- "USOS ALTERNOS DE LA ENERGIA GEOTERMICA", el cuál tiene como principal lineamiento la producción de alimento para consumo humano.

Dentro de las alternativas consideradas en el programa fué el crear una infraestructura interdisciplinaria con las técnicas de Hidroponia y Acuacultura, dentro de los terrenos expropiados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE),- en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, en Baja California.

Con este proyecto se inician actividades bajo aplicación de conceptos acuaculturales y técnicas geotérmicas de vapor excedente para lograr producciones en combinación con técnicas hidropónicas.

Las técnicas acuaculturales e hidropónicas han sido utilizadas con éxito en países altamente industrializados como Estados Unidos, Japón e Israel, según Schwarz, (1977). Para esto se realizó un análisis de muestreo para el reconocimiento de las especies existentes en la zona, tanto en el Río - Colorado como en los canales de irrigación, llevado a cabo por Geología y Minería, S.A., (1980). Se escogió una especie comercialmente cotizada para forraje, como la mojarra - (Tilapia zilli).

El cultivo de la Tilapia sp., conocida como mojarra -- africana, se ha expandido por muchas partes del mundo, principalmente en los países asiáticos. Por su mínimo costo y cuidado en su cultivo, han ofrecido una excelente fuente alimenticia.

En 1964 por primera vez en México fueron introducidos por la Investigadora María Luisa Sevilla, tres especies de cíclidos procedentes de Auburn, Alabama, Estados Unidos.

La gran resistencia y adaptabilidad al medio que se reflejan en los procedimientos sencillos en su cultivo, han hecho que este género de peces sea considerado actualmente como uno de los más importantes de la Piscicultura Mexicana -- especialmente la especie Tilapia zilli que pertenece al:

|            |                |
|------------|----------------|
| Phylum     | Chordata       |
| Sub-Phylum | Gnatostomata   |
| Clase      | Osteichthyes   |
| Sub-Clase  | Actinopterygii |
| Orden      | Peciforme      |
| Sub-Orden  | Percoidei      |
| Familia    | Ciclidae       |
| Género     | Tilapia        |
| Especie    | zilli          |

Según Manual Técnico para el cultivo de la Tilapia, -- (1982).

Es evidente que el esfuerzo que realiza la Comisión Federal de Electricidad para el aprovechamiento de la energía geotérmica, combinado con las técnicas acuaculturales, será ampliamente compensado cuando estas innovaciones sean manejadas por nuestro pueblo en todas las zonas geotérmicas con que cuenta el país.

Con lo mencionado anteriormente y con el conocimiento previo de la falta de campos de producción masiva de especies acuáticas como alimento para consumo humano, se presentó a la Comisión Federal de Electricidad una propuesta que se resume en tres etapas:

PRIMERA: La construcción y funcionamiento de dos estanques circulares de experimentación, en base a un sistema semicerrado de recirculación de agua al aire libre, calentados por medio de un intercambiador de calor de vapor geotérmico, para mantener determinadas densidades de organismos juveniles, y posteriormente resembrar pozas rústicas de engorda durante todo el año.

SEGUNDA: Construcción de un laboratorio completo para la re

producción de peces de agua dulce y langostino.

TERCERA: Construcción de 50 hectáreas de pozas rústicas para peces.

Para el desarrollo del programa se planteó la necesidad de diseñar y construir los sistemas que permitieran llevar a cabo la producción de peces de agua dulce (primera etapa).

## II. OBJETIVOS

Dada la oportunidad de aprovechar el vapor excedente - como energía calorífica para la producción de peces, se establecieron los siguientes objetivos:

- 1).- Construir un sistema semicerrado para la manutención - de alevines y juveniles de peces de agua dulce.
- 2).- Probar el sistema, utilizando la energía geotérmica residual como fuente calorífica, para el cultivo de Tilapia zilli, observando su crecimiento y aprovechamiento alimenticio.

## III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el Edo. de Baja Ca-

California en el Valle de Mexicali, dentro del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (fig.1).

La zona se encuentra limitada al Norte y Sur por los canales de irrigación Solfatará y Deltra respectivamente, los cuales llevan un considerable volumen de agua ( $400 \text{ m}^3/\text{seg}$ ); al Este por campos de cultivo ejidales y al Oeste por la Sierra Cucapah. Estos canales se encuentran perfectamente adecuados para proveer el agua necesaria para el campo mencionado.

El tipo de suelo es arcilloso en un 70%, lo cual resultó ser buen terreno para la compactación y colado de taludes según Wheaton, (1977). Se cuenta con caminos totalmente asfaltados que dan acceso a la zona.

La climatología del lugar varía considerablemente de invierno a verano, con rangos desde  $0^\circ\text{C}$  hasta  $44^\circ\text{C}$ , respectivamente.

También existen instalaciones hidráulicas, de energía eléctrica, energía geotérmica y vías telefónicas.

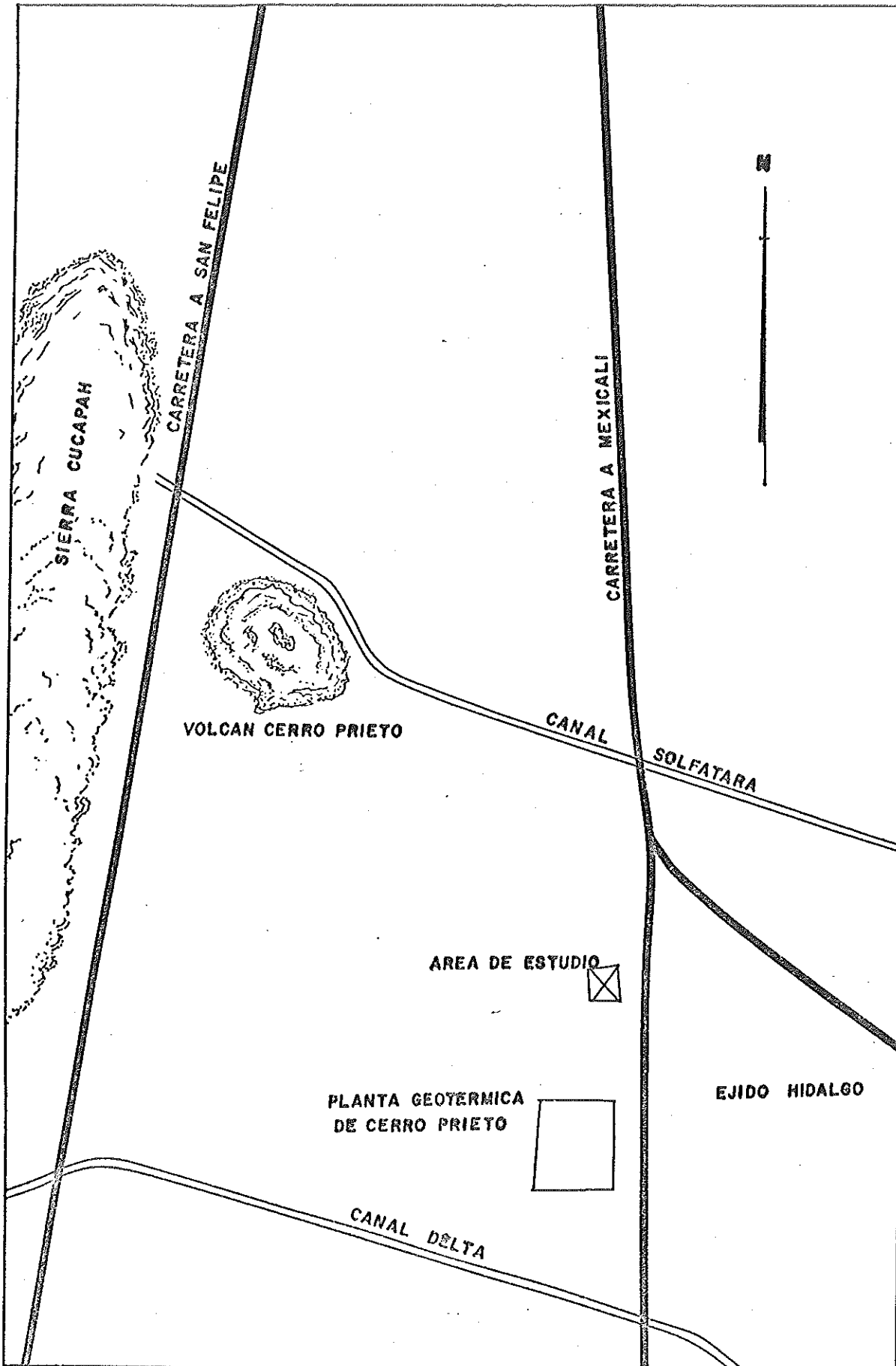


FIGURA 1 Descripción del area de estudio.

#### IV. MATERIALES Y METODOS

##### A).- DE DISEÑO, CONSTRUCCION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.

Se terminó en la primera etapa, la construcción de dos estanques de concreto con un sistema semicerrado, que trabaja con filtración mecánica (arenas y diatomeas) en la entrada de agua según Wheaton , (1977), pasando después a un intercambiador de calor geotérmico para el calentamiento necesario de agua, llenando así cada cuadrante independientemente.

El agua se recircula a través de un filtro biológico - por medio de una bomba de 2 caballos de fuerza pasando después al estanque por aspersion para la captación de oxígeno.

A continuación se enumeran los pasos que se contemplaron para la realización del diseño, construcción y funcionamiento de la infraestructura del sistema en cuestión.

##### 1.- ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO PARA SU NIVELACION Y COMPACTACION:

El terreno escogido para la edificación del sistema es

plano en su totalidad; se procedió a diseñar dos estanques (fig.2).

La calidad del terreno es de 70-30% de arcilla y limo arenoso respectivamente, el cual se analizó con un nucleador y se tamizó, así se verificaron las proporciones granulométricas del suelo, según recomendaciones de Huet, (1972).

Se escabó del suelo natural 80 cm, para dar una pendiente central de 50 cm, para así obtener un mejor resultado en la compactación del suelo.

Se procedió a nivelar en forma cónica con una capa de 30 cm de espesor, se compactó esta superficie con riegos y maquinaria en capas de 10 cm de espesor hasta dar con la nivelación deseada de 50 cm de desnivel de la periferia al centro del cono, y con esto se realizó la primera fase de movimiento de tierra para el proceso de impermeabilización del fondo de los estanques.

## 2.- RAMAL DE TUBERIA PARA DRENAJE:

Una vez compactada esta superficie apoyada con riegos, se escabó la línea de drenaje con una pendiente de 2%, una longitud de 110 m, con una tubería de PVC de 20.32 cm de --

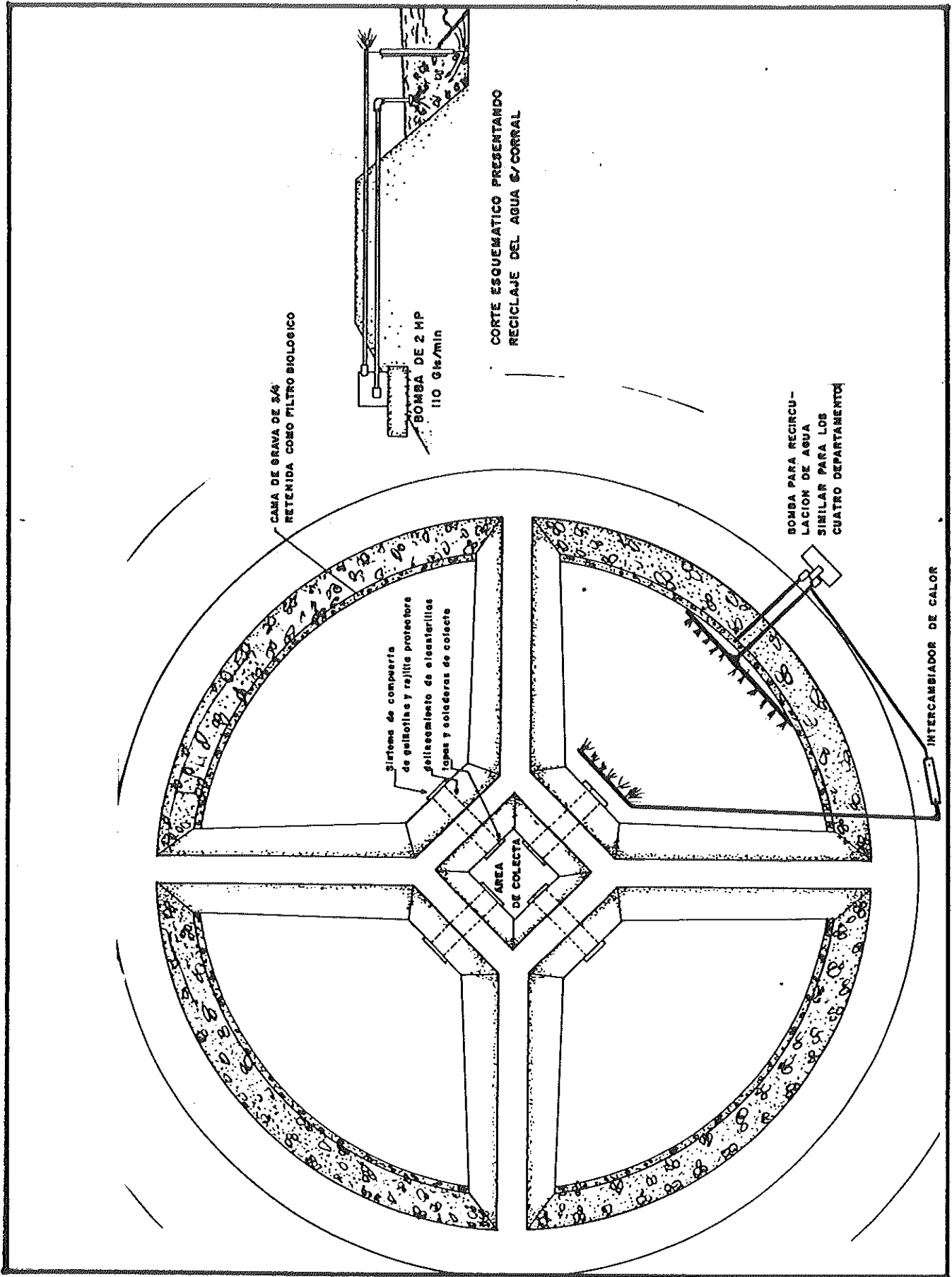


FIGURA 2 Prototipo de estanquería.

diámetro, partiendo desde el centro del estanque hasta una cámara de válvulas de control de drenaje en el exterior del mismo. Se procedió a rellenar y compactar la zanja de drenaje, dándole una última nivelación, y compactación a la superficie de los estanques.

El destino de las aguas que en un momento dado pudieran ser drenadas de éstos estanques serán depositadas en una poza de aguas residuales para la contribución de los riegos - hidropónicos del mismo campo experimental.

### 3.- IMPERMEABILIZACION DEL FONDO DE LOS ESTANQUES:

Una vez obtenida la compactación al 90%, se tendió una lona en las dos caras con alma de tirante de nylon sobre la totalidad de la superficie del estanque de modo que sirva - de protección contra la tierra del suelo, y así mismo sirva como impermeabilizante en el piso del estanque para la posible filtración que pueda existir, como también se muestra - en la fig. 3.

### 4.- MUROS DE CONTENCIÓN DEL SISTEMA DE ESTANQUES (TALUDES)

Posteriormente se realizó el trabajo de taludes perime

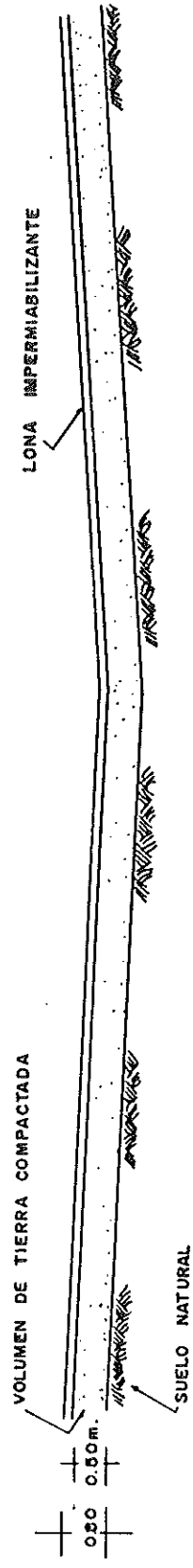


FIGURA 3 Corte transversal del fondo de los estanques.

trales, radiales y centrales, con una relación de 2 a 1 según recomendación de Wheaton, (1977) en los perimetrales, y en los taludes radiales y centrales una relación 1.5 a 1, - debido a la buena calidad de la arcilla existente según Huet (1972), y Wheaton, (1977), como lo muestra la fig. 4. Se fijaron guías exteriores de línea y nivel para ir vaciando, tendiendo y compactando la arcilla que conforma los taludes.

La compactación se realizó en capas de cada 20 cm de espesor, y se impregnó de humedad, previamente mediante acamellonado en un area cercana al estanque, las mezclas de humedad y arcilla se efectuaron con la ayuda de motoconformadoras. El traslado se realizó por trascabos, y la compactación por equipo pesado en las capas horizontales, mientras que en los taludes por compactadoras neumáticas, manuales y personal de obra.

Habiendo llegado al nivel de 1.50 m sobre el nivel natural del terreno, fué esparcida una pequeña capa de limo arenoso del Volcán Cerro Prieto, en su totalidad de andadores y taludes, en una delgada capa que no sobrepasa de 5 cm de espesor para darle un preterminado y renivelado.

Sobre los andadores radiales y perimetrales, así como en las pendientes que forman los taludes interiores, fué -

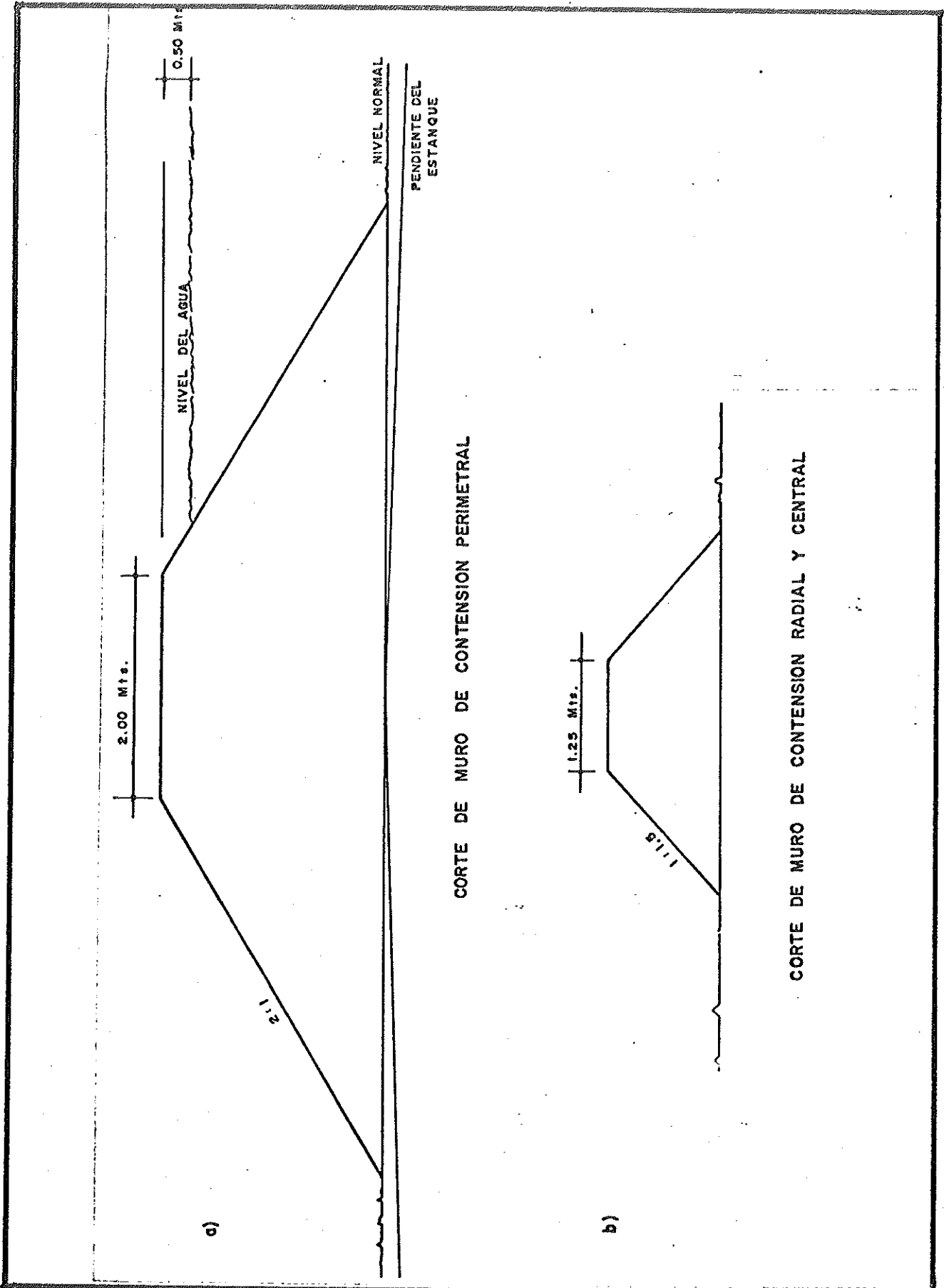


FIGURA 4 Corte de taludes, levantados perimetrales, radiales y centrales.

colocada una losa de concreto de 15 cm de espesor, esto con el fin de disminuir agrietamientos por una parte, y para -- evitar erosión eólica sobre la superficie de los taludes.

Los muros de contención que conforman el area de colecta tienen una losa de concreto de 10.27 cm de espesor con -- una cuadrícula de 40 x 40 cm de alambión, incluyendo taludes, andadores y piso, ver fig. 5. Estos muros del area de colecta ó también mencionados anteriormente como centrales, en -- su parte exterior reciben cada uno, una compuerta metálica de ángulo y lámina calibre 12, reforzada con elementos de -- acero. En su parte interior soportan unas tapas metálicas que controlan los empujes irregulares del agua.

#### 5.- SISTEMA DE CONTROL DE NIVELES:

Para controlar los niveles del agua de cada uno de los cuadrantes del estanque, fueron colocados tres tubos de PVC de 5.08 cm de diámetro en cada uno de los cuadrantes, dentro de los muros de contención centrales, a una altura de .50 cm en forma de S. Este tipo de tubería hace la función de un sistema de niveles de agua que puede oscilar desde el nivel más alto del estanque (1.50m) en la parte del talud perimetral, hasta cero metros mediante vasos comunicantes (fig.6).

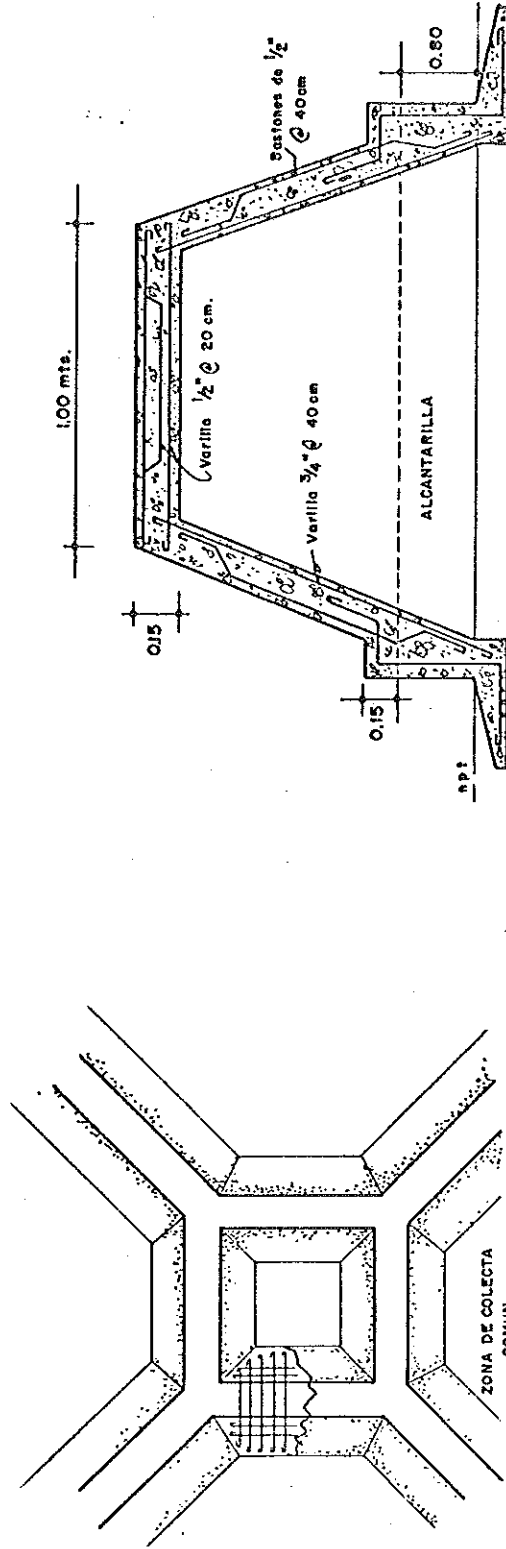


FIGURA 5 Detalle del armado de los muros en la zona de colecta .

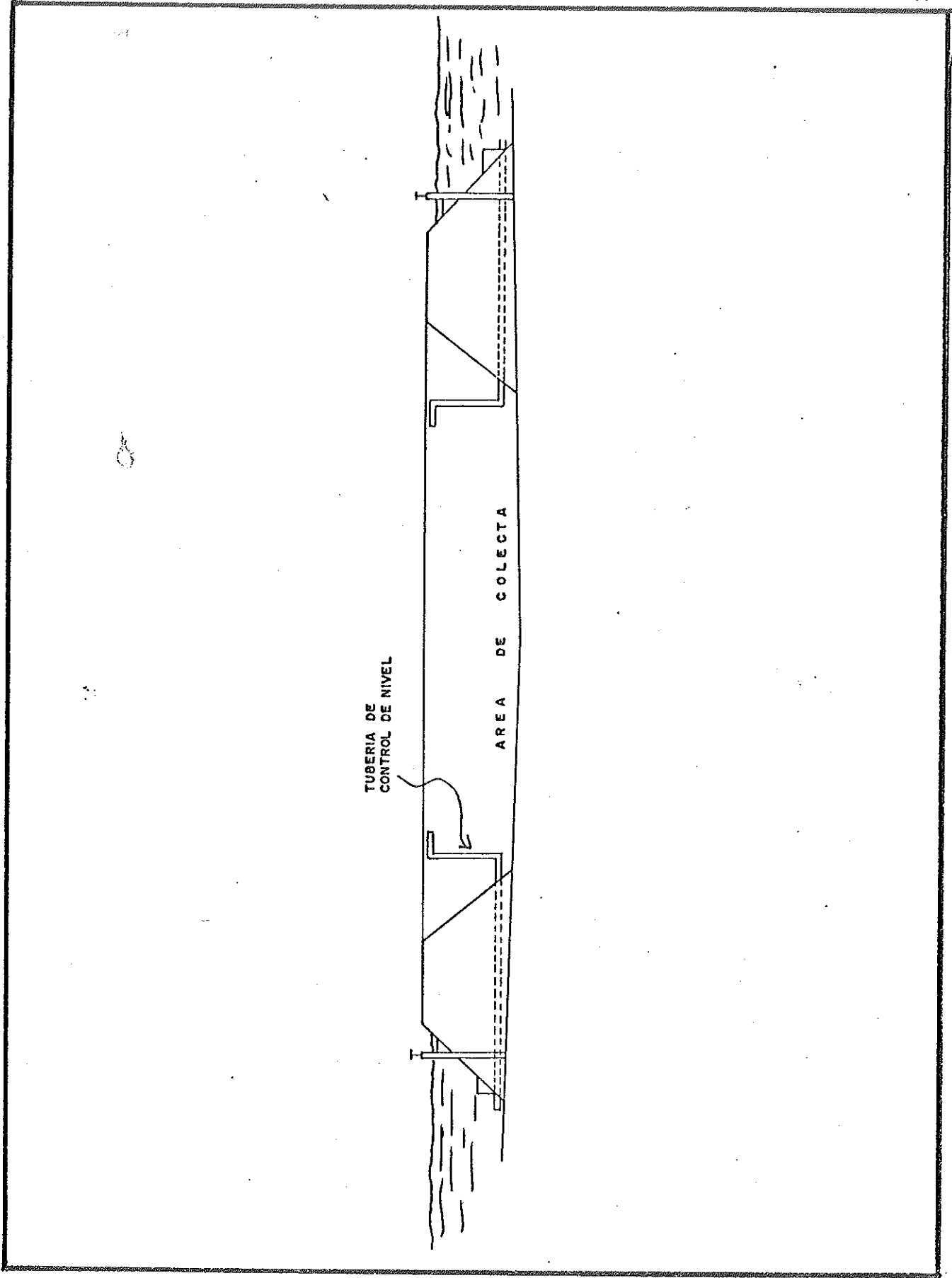


FIGURA 6 Sistema de control de niveles de agua en cada cuadrante de los estanques.

## 6.- SISTEMA HIDRAULICO DE DISTRIBUCION Y BOMBEO:

La alimentación hidráulica para el sistema de estanques se ejerce por una bomba centrífuga de 5 caballos de fuerza con un gasto de 2 litros por segundo, la cuál alimenta los estanques tanto para el llenado inicial como para restituir el agua perdida por la evaporación. Es conducida por medio de una tubería de 5.08 cm de diámetro de PVC, la cuál es -- primeramente filtrada por un equipo de arenas Marca Triton-100, de una capacidad de 1,135 litros por minuto a presión máxima de 50 libras por pulgada cuadrada, el cual fué llenado con arena sílica No. 20, previamente esterilizada.

Posteriormente es conducido el fluido a un equipo de - filtración de diatomeas, Marca SWIMQUIP con una capacidad - de 1,135 litros por minuto el cual filtra el agua hasta 3 - micras según el manual SWIMQUIP, (1980).

Partiendo de ésta fase, el agua puede llevar dos destinos:

PRIMERO: Pasar a un intercambiador de calor de vapor geotérmico que sirva para el calentamiento previo de la llegada - del agua al estanque. Este intercambiador consiste de un - tubo de acero de 20.32 cm de diámetro por el cual pasan 7 -

tubos de 2.54 cm de acero, por donde es conducida el agua a calentar, el trabajo de la tubería de 20.32 cm es de una cámara donde es fluído el vapor geotérmico para calentar el agua.

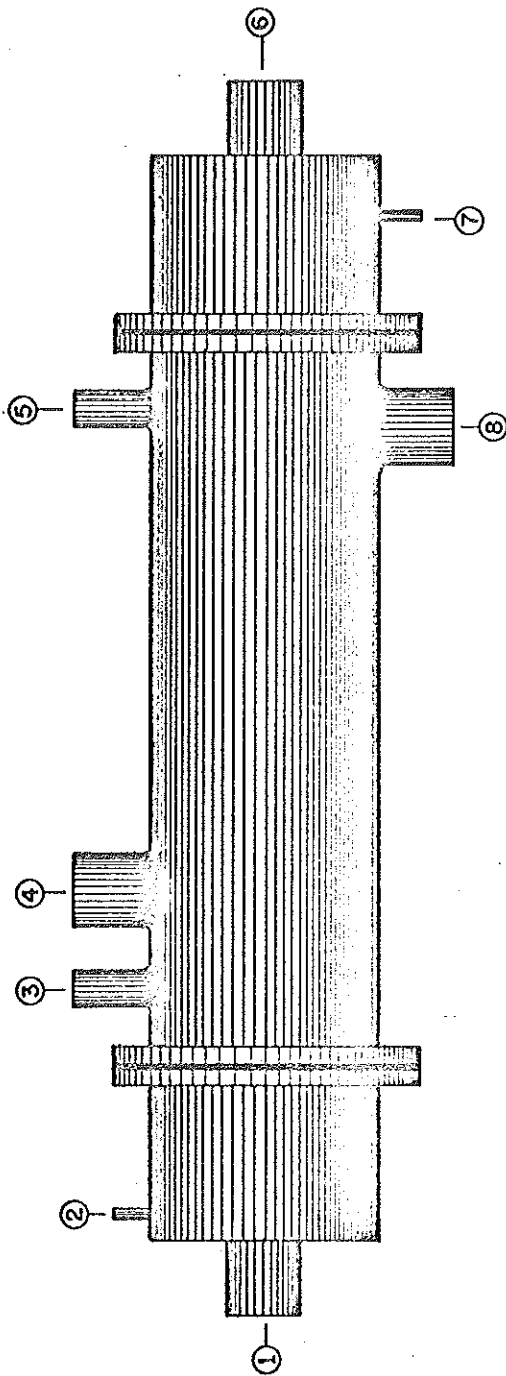
El control de temperatura del estanque es manual por medio de flujos de vapor y flujos de agua, teniendo un termómetro registrante en la poza, la fig. 7 nos muestra la fachada del intercambiador de calor.

SEGUNDO: Pasar directamente a la tubería de aspersion para ser oxigenada por una tubería de PVC de 3.81 cm con perforaciones hacia el espejo de agua en cada cuadrante.

La distribución hidráulica es auxiliada con cierto número de válvulas de control de tipo compuerta de bronce de 5.08 cm de diámetro para con esto tener un manejo independiente de cada uno de los cuadrantes de los dos estanques en mención. Este sistema de distribución nos lo muestra la fig. 8.

## 7.- FILTRACION BIOLOGICA, AIREACION Y RECALENTAMIENTO:

La filtración biológica, cumple uno de los papeles mas importantes dentro del sistema, debido al aprovechamiento -



**N O M E N C L A T U R A**

- 1 ENTRADA VAPOR
- 2 MEDICION TEMPERATURA
- 3 MEDICION PRESION
- 4 ENTRADA VAPOR
- 5 SALIDA GASES INCONDENSABLES
- 6 SALIDA DE AGUA
- 7 MEDICION TEMPERATURA
- 8 SALIDA VAPOR

FIGURA 7 Fachada del intercambiador de calor de vapor geotermico.

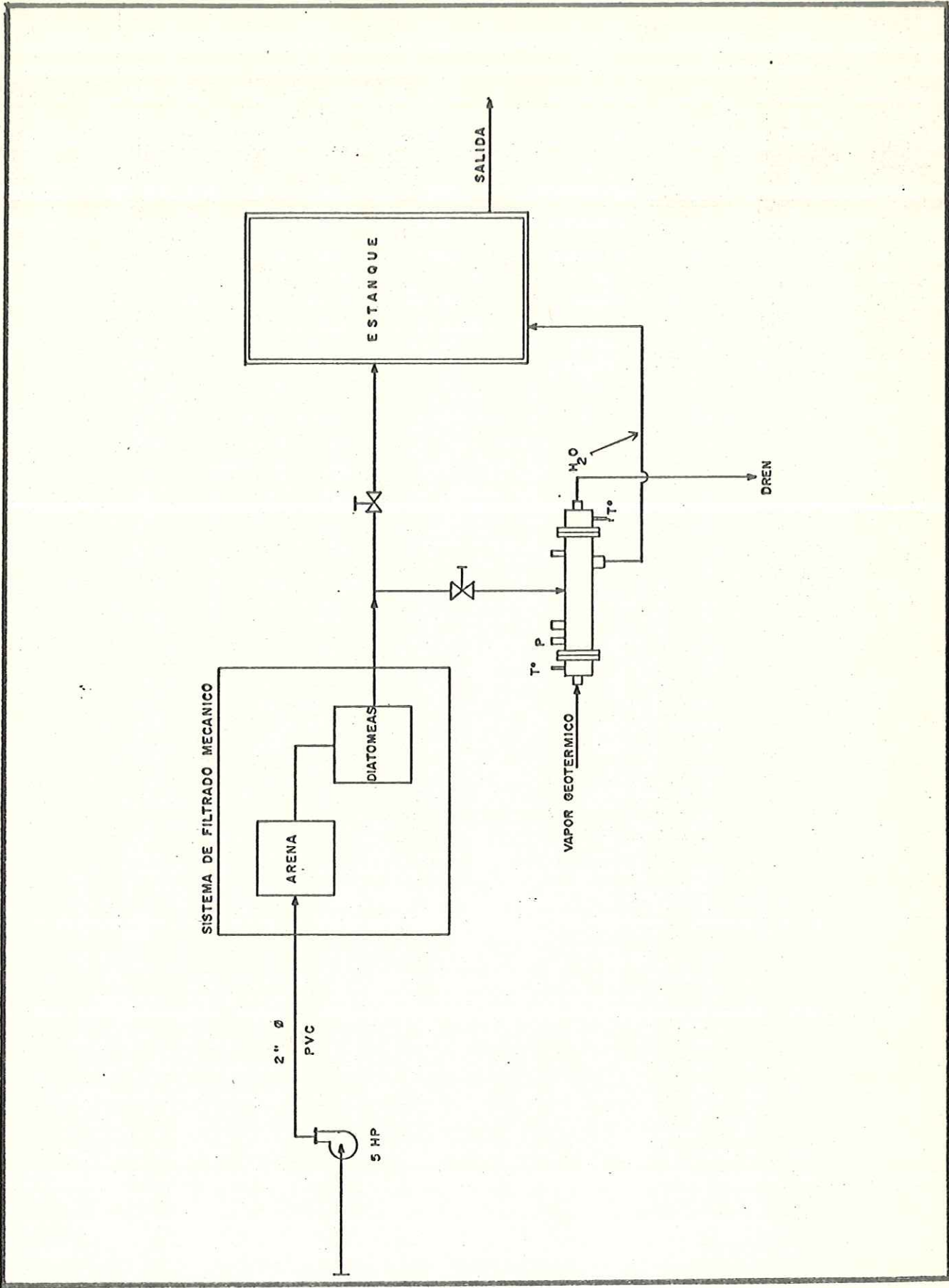


FIGURA .8 Diagrama de flujo de entrada de agua, filtracion y calentamiento .

máximo del agua en forma de recirculación y como parte principal en el soporte de altas densidades de organismos para nuestro sistema en operación. Aprovechando también el recalentamiento del agua.

El filtro biológico que corresponde a nuestros estanques, se trata de un depósito que se encuentra integrado dentro de cada cuadrante relleno de grava de 1.9 cm por el cual se hace fluir el agua del estanque de abajo hacia arriba por medio de una bomba centrífuga de 2 caballos de fuerza, y una tubería de 5.08 cm de diámetro con orificios que está distribuida en toda la superficie del filtro a 20 cm debajo de la grava del mismo, donde después el agua es mandada a un intercambiador de calor si es necesario y/o aeración por medio de aspersión, en cada cuadrante independientemente. Este sistema de filtrado consta con un volumen de  $30 \text{ m}^3$  de grava, por la cual pasa toda el agua y donde es recirculada en 29 horas su totalidad.

El criterio utilizado para diseñar el filtro biológico está basado en un modelo de filtración biológica experimentado por DOV GRAJCER en Acuafarms según recomendación personal, (1980), quien recicla el agua en 34 horas, con un volumen filtrante de 10%, con grava de 1.27 cm donde este filtro tra

baja fuera del estanque.

Para nuestro sistema se diseñó un filtro integrado en el estanque, y recircula el total del agua del mismo en 29 horas con una bomba centrífuga de 2 caballos de fuerza y -- 3,600 RPM Marca SWIMQUIP, (fig.9).

Para apoyar el trabajo del filtro biológico, es auxiliado por una aspiradora de alberca que trabaja succionando los depósitos de excedente de comida y heces fecales antes de - que se descompongan y puedan producir zonas anóxicas y putre facción en el fondo del estanque.

#### 8.- MANTENIMIENTO GENERAL:

Con respecto al mantenimiento de los estanques, durante el tiempo de trabajo, se realiza una limpieza rutinaria (cada 10 días) del fondo por medio de una aspiradora (aspiradora de alberca Marca Premier, Mod. 680), esto con el objeto de extraer los sólidos que alcanzan a depositarse en - el fondo.

Este aparato efectúa su trabajo extrayendo con una bomba de 1 caballo de fuerza Mod. 681B-30M, y una manguera elástica de 5.08 cm de diámetro, todo lo que se encuentra depo-

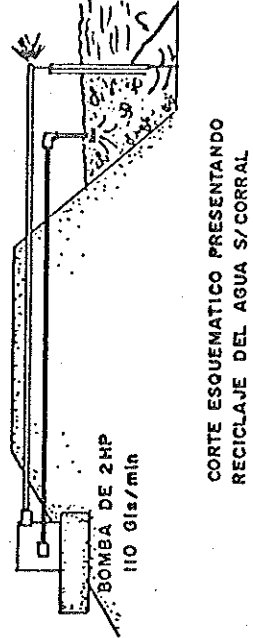
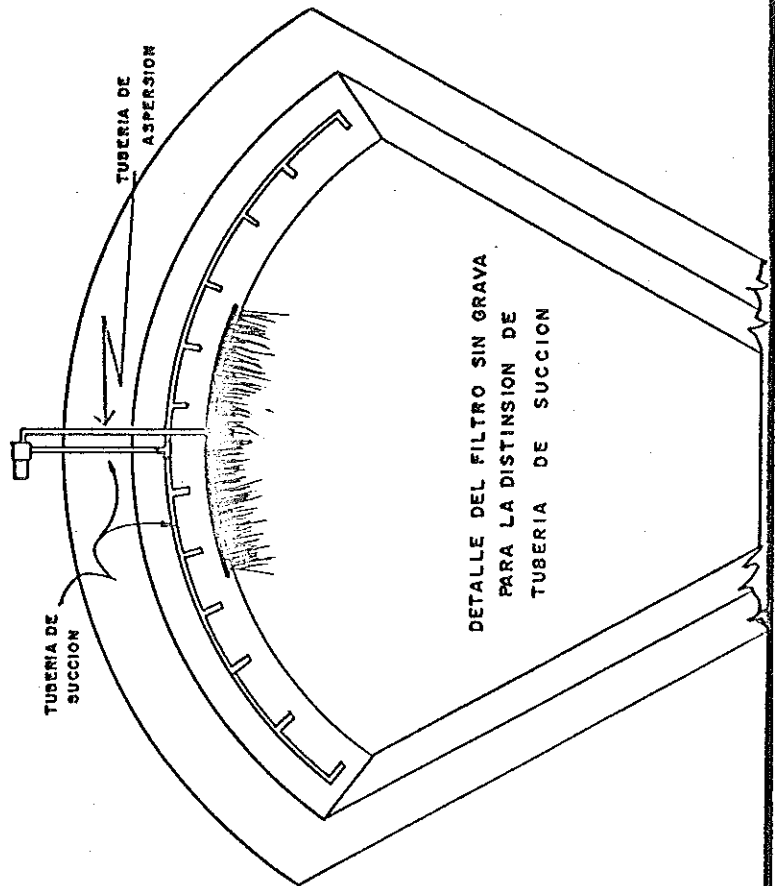
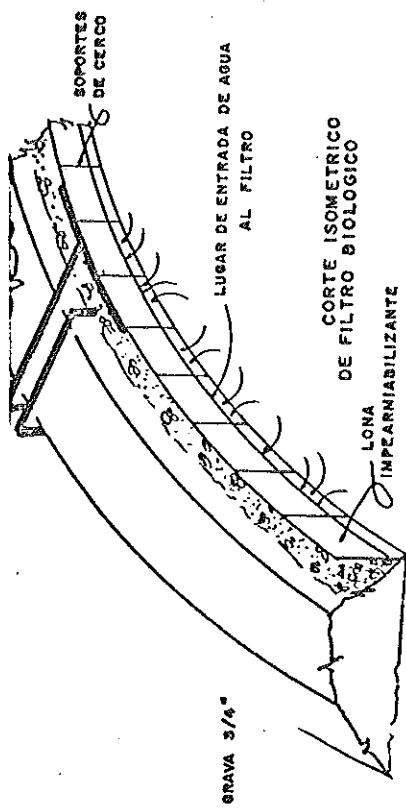


FIGURA 9 Detalles del filtro biológico .

sitado en el fondo, donde esa agua con sólidos después es usada para regar el pasto que se encuentra sembrado alrededor de los estanques, por encima de los taludes exteriores.

El sistema de bombas es revisado cada 45 días, con el fin de que tenga un funcionamiento continuo y no existan interrupciones de flujos durante el tiempo de trabajo. Consiste en engrasar los motores, medir voltaje, purgar la tubería y la bomba (propela) y protegerlas del sol, ya que en época de verano la temperatura es muy alta.

Al equipo de filtración mecánica de arena (filtro de presión), se le efectúa un proceso de retrolavado cada 100 horas de trabajo con el fin de extraer todos los sólidos que quedan atrapados en la arena. Respecto al filtro de tierra de diatomeas, se le hace un cambio de diatomeas, cada 90 días de trabajo, que son las recomendaciones del manual de filtrado SWIMQUIP, Modelo 1980.

Al filtro biológico se le realiza un lavado ligero a la grava anualmente, para extraer la tierra que se le acumula debido a la transportación eólica de los sólidos (polvo) que se encuentra alrededor de las instalaciones. También se sondea la tubería de succión que se encuentra a lo largo del filtro, para que en la siguiente fase de trabajo esté -

totalmente en condiciones para dar un funcionamiento adecuado.

B).- EL MODELO EXPERIMENTAL PARA LA COMPROBACION DEL SISTEMA.

Teniendo la infraestructura terminada, se adquirieron en el mes de Noviembre de 1982, 30,000 alevines de Tilapia zilli con 15 días de nacidos, dichos animales fueron importados de Estados Unidos en contenedores con sistema de aeración.

El equipo de transporte de los animales constó de cuatro contenedores cerrados, los cuales se les suministró aire por medio de unos compresores de 12 voltios, para asegurar que llegaran vivos en su totalidad a Cerro Prieto.

Llegando a Cerro Prieto se aclimataron a las condiciones de la poza de experimentación (que consiste en uno de los cuadrantes de un estanque). Se monitoreó el agua respecto a parámetros físico-químicos, como  $t^{\circ}$ ,  $O_2$  disuelto, pH,  $NH_4$ ,  $NO_3$ , y  $NO_2$ , de ahí lentamente se fué introduciendo agua de la poza a los contenedores durante un lapso de 2 horas, hasta cambiar totalmente el agua del contenedor de transporte. Antes de introducirlos a la poza se tomaron al azar -- 150 animales para obtener los datos biométricos de peso y --

longitud, (cifra máxima que se autorizó muestrear). La medición inicial se realizó para el peso húmedo, con una balanza analítica (dada la magnitud de los alevines), y la longitud con un pie de rey. Posteriormente los animales fueron introducidos a la poza.

En lo sucesivo se realizaron los muestreos con artes de pesca como chinchorros, atarrayas, y redes de mariposa.

Primeramente se introducía el chinchorro a la poza, donde se arrastraba aproximadamente a la mitad, ya teniendo los animales aglomerados en un solo lugar, se lanzaba la atarraya al azar una ó dos veces dada la gran cantidad de animales en la poza, se extraían con redes de mariposa introduciéndolos posteriormente a los contenedores para de ahí ser medidos y pesados.

El modelo experimental se dividió en tres fases:

a).- Determinación del crecimiento poblacional, en peso y longitud utilizando la ecuación de "Le Creen", (1951). La relación de la ecuación dice que:

$$W = aL^b$$

DONDE:        W = Peso de cada organismo  
               a = La constante de condición de peso y longitud

- L = Longitud de cada organismo  
b = La constante de crecimiento poblacional

Para obtener las constantes a y b, se realiza una regresión funcional logarítmica de peso y longitud descrita por Ricker, (1975), en el mismo programa se obtienen la media, - desviación estandar, e índice de error máximo de cada muestreo para visualizar mejor el comportamiento poblacional durante los 3 meses de edad. La deducción de la ecuación dice que la constante a, es la intersección en la "ORDENADA" y la constante b, es la pendiente que se obtiene de la regresión.

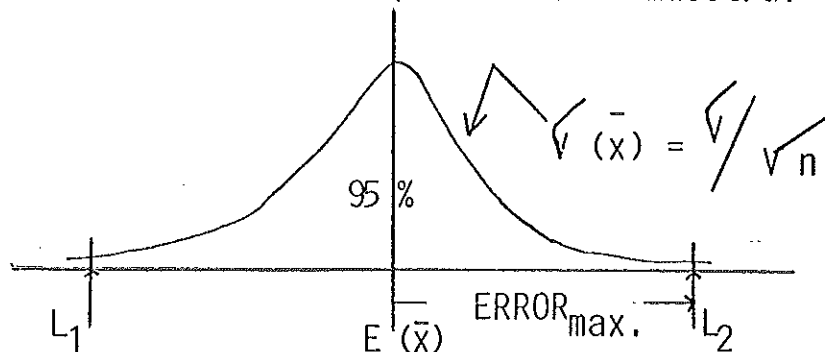
El procedimiento estadístico se define de la siguiente manera:

- 1.- Calcular media y desviación estandar de la población para cada uno de los casos en los que se tomó una muestra.
- 2.- Debido a que el tamaño de la muestra se estableció de - antemano (n=150), se determina la magnitud del error máximo que puede ocurrir en la estimación de la media poblacional debido a la muestra, según Sokal y Rohlf, (1969).

Con una función muestral de:

$E(\bar{x})$  = Estimación esperada de la muestra.

$\sqrt{V(\bar{x})}$  = Desviación esperada de la muestra.



La amplitud del intervalo  $(L_1, L_2)$  son los posibles valores que puede tomar una muestra con  $n = 150$ , el máximo error que puede cometerse sería:

$$L_1 - E(\bar{x}) = L_2 - E(\bar{x}) = \text{ERROR}$$

Utilizando la función normal estandar dada por la ecuación

$$\frac{L_2 - E(\bar{x})}{\sqrt{V} / \sqrt{n}} = Z_{95\%} \quad \text{ENTONCES}$$

$$\frac{\text{ERROR}}{\sqrt{V} / \sqrt{n}} = Z_{95\%} \quad \text{POR LO TANTO}$$

$$\text{ERROR} = \frac{Z_{95\%} (\sqrt{V})}{\sqrt{n}}$$

$Z_{95\%}$  = Se obtiene de tablas estadísticas.

b).- Determinación del Factor de Conversión de Alimento.

El factor de conversión de alimento (FCA), es uno de los resultados más útiles en acuicultura intensiva, según la Secretaría de Pesca, (1980). Esta prueba nos muestra la efectividad de los alimentos suministrados en el aprovechamiento del mismo por la población, durante el período determinado, teniendo en consideración que el factor de conversión de alimento se determina de la siguiente forma:

$$FCA = \frac{\text{CANTIDAD DE ALIMENTO SUMINISTRADO EN UN TIEMPO DADO.}}{\text{INCREMENTO EN PESO DE LA POBLACION EN EL MISMO TIEMPO.}}$$

Expresando su valor como la cantidad de alimento necesario para lograr un incremento de 1 Kg en la población.

Para la obtención de los datos se suministró el 15% de alimento según Mironova (1969), con respecto al peso medio de la población, que al obtener el cálculo total de peso poblacional cada 15 días, se calcula el 15% del mismo. Para dicho experimento se utilizó un tipo de alimento balanceado con un contenido de 32% de proteína animal, suministrado 3 veces diarias según recomendaciones de Mironova (1969), como a continuación se describe:

|    |              |               |
|----|--------------|---------------|
| 6% | En la mañana | ( 7:00 A.M. ) |
| 3% | En la tarde  | ( 1:00 P.M. ) |
| 6% | En la noche  | ( 7:00 P.M. ) |

c).- Determinación de las variables físico-químicas de la poza.

Las mediciones ambientales tanto del agua como atmosféricas (temperatura), se realizaron diariamente. Esta lectura se tomó con un termómetro de máximos y mínimos de dos polos digital marca Kalsico, Mod. 36AM300, con rangos de 1°C a 100°C, donde uno de los polos se encontraba dentro de la poza y el otro en el ambiente.

Las variables físico-químicas,  $O_2$  (DIS),  $NH_3$ ,  $NO_2$ , pH y  $NO_3$ , se tomaron semanalmente para con esto tener un panorama de la calidad del agua durante los 75 días de experimentación. Las mediciones se realizaron con el siguiente equipo.

- a.- pH: Con un potenciómetro digital marca VWR Scientific Inc., Mod. 55, rango 1-14.
- b.-  $O_2$  (disuelto): Con un oxímetro marca Kalsico, Mod. 114WA100, rango 0-14 mg/lt.
- c.-  $NH_3$ ,  $NO_3$ ,  $NO_2$ : Se determinaron con los procedimientos

tos de un laboratorio portátil marca Hatch, Mod. DR-EL/4, con conductímetro.

## V. RESULTADOS

### 1.- DISEÑO Y CONSTRUCCION:

Durante la primera etapa referente a diseño y construcción del sistema, se realizó en el período que comprende los meses de Febrero a Septiembre de 1982, ininterrumpidamente. En el mes de Octubre se probó el sistema de filtración, calentamiento y flujos hidráulicos, teniendo este sistema totalmente controlado en su funcionamiento físico, se procedió al experimento biológico con Tilapia zilli como anteriormente se planteó.

### 2.- CONDICION DE CRECIMIENTO POBLACIONAL:

Los resultados obtenidos en la segunda etapa referente a peso y longitud aparecen en la tabla I, la cuál nos muestra las medias de peso y longitud de cada muestreo de los tres meses de edad (tomando en cuenta que los animales llegaron de 15 días de nacidos), también en la misma se encuentran los valores de desviación estandar y el error por muestra con un 95% de confiabilidad.

El resultado de la ecuación de condición de crecimiento

TABLA I Valores de peso y longitud de Tilapia zilli Donde : n= tamaño de la muestra,  $\bar{x}$ = media de la muestra,  $\sqrt{s}$  = desviación estandar y e= error máximo con un 95% de confiabilidad de cada muestra.

| No.<br>Muestra | Edad<br>días | n   | Peso gr.  |            | Longitud cm. |            |      |
|----------------|--------------|-----|-----------|------------|--------------|------------|------|
|                |              |     | $\bar{x}$ | $\sqrt{s}$ | $\bar{x}$    | $\sqrt{s}$ |      |
| *              |              |     |           |            |              |            |      |
| 1              | 15           | 150 | .91       | 1.006      | 2.14         | 1.326      | .212 |
| 2              | 30           | 150 | 2.21      | .247       | 2.44         | .261       | .041 |
| 3              | 45           | 150 | 4.75      | .756       | 5.59         | .470       | .075 |
| 4              | 60           | 150 | 12.62     | .929       | 6.83         | .753       | .120 |
| 5              | 75           | 150 | 26.14     | .377       | 12.13        | .143       | .022 |
| 6              | 90           | 150 | 46.64     | 3.089      | 13.24        | .446       | .071 |

\*Muestra inicial, tomada el día de llegada de los animales a Cerro Prieto.

to poblacional fué de  $W = .2406 L^{1.9529}$ , como se muestra - más claro en la figura 10, donde podemos observar los puntos teóricos calculados por la ecuación, como también los puntos reales de las medias de cada muestreo durante los 75 días.

### 3.- FACTOR DE CONVERSION DE ALIMENTO (FCA):

Los resultados referentes al FCA aparecen en la tabla II la cuál muestra un peso de la población total, el incremento de peso poblacional de cada 15 días, la cantidad de alimento suministrado en Kilogramos durante ese mismo periodo de tiempo, el factor de conversión de alimento por muestreo de cada 15 días, y el factor de conversión de alimento durante los tres meses de edad (los cuales pasaron 75 días en la poza experimental de Cerro Prieto), teniendo como aprovechamiento alimenticio un  $FCA = 2.30$ .

### 4.- VALORES DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS:

Los resultados de los parámetros ambientales tomados - durante el experimento referentes a temperatura ambiental y temperatura de la poza calentada por medio de intercambiador de calor geotérmico, se encuentran expresados en la tabla - III, A, B, y C, los cuales se refieren a máximos y mínimos

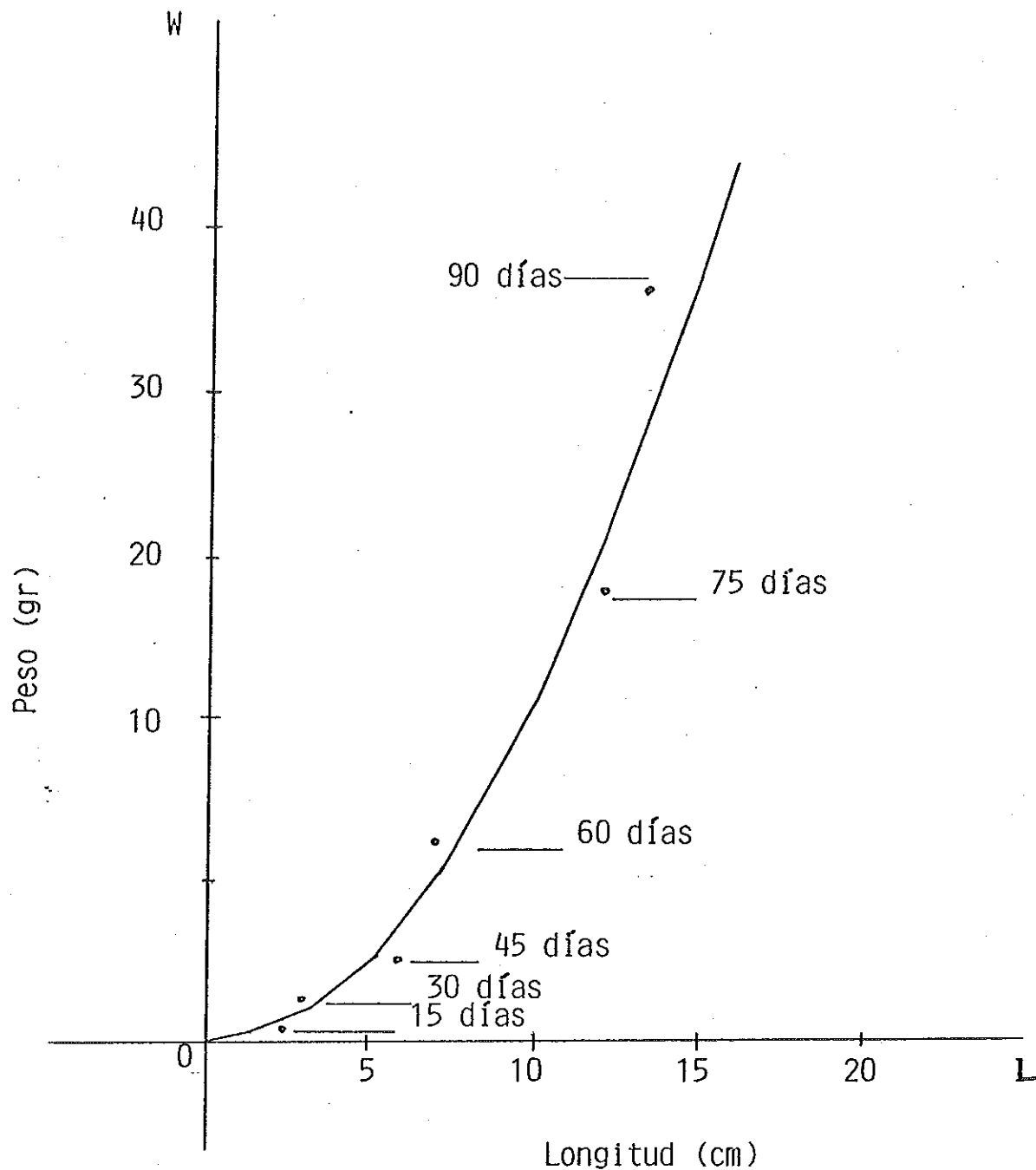


FIGURA 10.- Gráfica de comportamiento poblacional, calculada con la ecuación de crecimiento  $W = .2406 L^{1.9529}$ , donde los puntos negros nos muestran la media de cada muestreo.

TABLA II.- Factor de conversión alimenticia de Tilapia zilli durante los 75 días de observación en Cerro Prieto, en donde: INC. Wp. = Incremento de peso poblacional; CAS = Cantidad de alimento suministrado; FCAM = Factor de conversión de alimento muestral; y FCA exp. = Factor de conversión de alimento de todo el experimento.

| EDAD en días | BIOMASA TOTAL (Kg) | INC. Wp (Kg) | CAS en 15 días (Kg) | FCAM | FCA exp. |
|--------------|--------------------|--------------|---------------------|------|----------|
| 15           | 27.58              | -            | 62.0                | -    |          |
| 30           | 66.24              | 38.66        | 149.0               | 1.60 |          |
| 45           | 142.40             | 76.16        | 320.0               | 1.95 | 2.30     |
| 60           | 378.40             | 236.40       | 851.0               | 1.35 |          |
| 75           | 784.17             | 405.77       | 1,764.30            | 2.09 |          |
| 90           | 1,394.00           | 614.00       | -                   | 2.86 |          |

TABLA III-A.- Mediciones de máximos y mínimos de temperatura ambiental y temperatura en el estanque durante los 75 días.-

| FECHA |     |      | T°C AMBIENTAL (ATMOSFERICA) |        | T°C      |
|-------|-----|------|-----------------------------|--------|----------|
| MES   | DIA | AÑO  | Máximo                      | Mínimo | Estanque |
| Nov.  | 29  | 1982 | 17                          | 14     | 27       |
| "     | 30  | "    | 18                          | 12     | 27       |
| Dic.  | 01  | "    | 16.5                        | 10.5   | 27       |
| "     | 02  | "    | 16                          | 9      | 27       |
| "     | 03  | "    | 16                          | 11     | 27       |
| "     | 04  | "    | 15                          | 12     | 26.5     |
| "     | 05  | "    | 14.5                        | 10     | 26.5     |
| "     | 06  | "    | 14                          | 10     | 26       |
| "     | 07  | "    | 16                          | 12     | 26       |
| "     | 08  | "    | 17                          | 13     | 26.5     |
| "     | 09  | "    | 18                          | 12     | 26       |
| "     | 10  | "    | 18                          | 14.5   | 26.5     |
| "     | 11  | "    | 19                          | 16.5   | 27       |
| "     | 12  | "    | 19                          | 17     | 27       |
| "     | 13  | "    | 20                          | 17.5   | 27.5     |
| "     | 14  | "    | 21                          | 16     | 27.5     |
| "     | 15  | "    | 20.5                        | 15     | 27.5     |
| "     | 16  | "    | 20                          | 14     | 27       |
| "     | 17  | "    | 19                          | 16     | 27       |
| "     | 18  | "    | 18                          | 13     | 27.5     |
| "     | 19  | "    | 17.5                        | 13.5   | 28       |
| "     | 20  | "    | 19                          | 14     | 28       |
| "     | 21  | "    | 16                          | 11     | 27.5     |
| "     | 22  | "    | 15                          | 9      | 27       |
| "     | 23  | "    | 16                          | 9      | 27       |
| "     | 24  | "    | 17.5                        | 10.5   | 27       |
| "     | 25  | "    | 18                          | 10     | 27.5     |
| "     | 26  | "    | 19                          | 12     | 28       |
| "     | 27  | "    | 18                          | 10     | 28       |
| "     | 28  | "    | 20                          | 16     | 28       |

TABLA III-B.- Mediciones de máximos y mínimos de temperatura ambiental y temperatura en el estanque durante los 75 días.-

| FECHA |     |      | T°C AMBIENTAL (ATMOSFERICA) |         | T°C      |
|-------|-----|------|-----------------------------|---------|----------|
| MES   | DIA | AÑO  | Máximos                     | Mínimos | Estanque |
| Dic.  | 29  | 1982 | 20                          | 17.5    | 28       |
| "     | 30  | "    | 20.5                        | 13      | 27.5     |
| "     | 31  | "    | 17.5                        | 11      | 27.5     |
| Enero | 01  | 1983 | 19                          | 13      | 27       |
| "     | 02  | "    | 20                          | 14      | 27       |
| "     | 03  | "    | 20                          | 16      | 27       |
| "     | 04  | "    | 17.5                        | 14      | 27.5     |
| "     | 05  | "    | 18                          | 14.5    | 27.5     |
| "     | 06  | "    | 17.5                        | 16      | 27       |
| "     | 07  | "    | 20                          | 16      | 27.5     |
| "     | 08  | "    | 21                          | 17      | 28       |
| "     | 09  | "    | 22                          | 18      | 28       |
| "     | 10  | "    | 22                          | 18      | 27.5     |
| "     | 11  | "    | 21                          | 16      | 27.5     |
| "     | 12  | "    | 21                          | 17.5    | 27       |
| "     | 13  | "    | 21.5                        | 16.5    | 27       |
| "     | 14  | "    | 21                          | 17      | 27       |
| "     | 15  | "    | 21                          | 18      | 27.5     |
| "     | 16  | "    | 21.5                        | 17.5    | 27       |
| "     | 17  | "    | 22                          | 17      | 27.5     |
| "     | 18  | "    | 23                          | 20      | 27       |
| "     | 19  | "    | 22                          | 20      | 27       |
| "     | 20  | "    | 20.5                        | 18      | 26.5     |
| "     | 21  | "    | 19                          | 17      | 26       |
| "     | 22  | "    | 18.5                        | 14      | 26.5     |
| "     | 23  | "    | 20                          | 17      | 26.5     |
| "     | 24  | "    | 18.5                        | 16      | 26.5     |
| "     | 25  | "    | 19                          | 16      | 27       |
| "     | 26  | "    | 20                          | 17      | 27       |
| "     | 27  | "    | 21                          | 17      | 27       |

TABLA III-C.- Mediciones de máximos y mínimos de temperatura ambiental y temperatura en el estanque durante los 75 días.-

| FECHA   |     |      | T°C AMBIENTAL (ATMOSFERICA) |         | T°C      |
|---------|-----|------|-----------------------------|---------|----------|
| MES     | DIA | AÑO  | Máximos                     | Mínimos | Estanque |
| Enero   | 28  | 1983 | 22                          | 18.5    | 27       |
| "       | 29  | "    | 22                          | 19      | 27       |
| "       | 30  | "    | 22                          | 18      | 27       |
| Febrero | 01  | 1983 | 22.5                        | 18      | 27.5     |
| "       | 02  | "    | 23                          | 18.5    | 27       |
| "       | 03  | "    | 23                          | 18.5    | 27       |
| "       | 04  | "    | 23.5                        | 18      | 27.5     |
| "       | 05  | "    | 24                          | 19      | 27.5     |
| "       | 06  | "    | 22.5                        | 17      | 27       |
| "       | 07  | "    | 20.5                        | 18      | 27.5     |
| "       | 08  | "    | 22.5                        | 19      | 28       |
| "       | 09  | "    | 23                          | 20      | 28       |
| "       | 10  | "    | 24                          | 20      | 28       |
| "       | 11  | "    | 24                          | 20.5    | 28       |
| "       | 12  | "    | 24.5                        | 19.5    | 28.5     |

diarios durante Noviembre y Diciembre de 1982, como también Enero y Febrero de 1983.

Observando un descenso brusco en la temperatura ambiental hasta 9°C en el mes de Diciembre y en la poza manteniéndose a  $28^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Referente a las mediciones físico-químicas de  $\text{O}_2$ , pH,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , y  $\text{NO}_3$ , registrada en los 75 días, los resultados se encuentran expresados en la tabla IV.

Dicha tabla muestra la medición tomada el día de introducción de los animales a la poza, como también la introducción de agua nueva a las 5 semanas debido a la pérdida por evaporación el cual fué un volumen de  $75 \text{ m}^3$ , aproximadamente 25% del volumen total de la poza.

TABLA IV .- Valores físico-químicos, de muestreo por semana durante los 75 días, donde:  
 T°C = Temperatura media semanal en el estanque; pH = potencial hidrógeno;  
 O<sub>2</sub> = Oxígeno disuelto; NH<sub>4</sub> = Amoníaco; NO<sub>2</sub> = Nitritos; y NO<sub>3</sub> = Nitratos.

| FECHA      | T° C | pH  | O <sub>2</sub> ppm<br>(dis.) | NH <sub>4</sub><br>ppm | NO <sub>2</sub><br>ppm | NO <sub>3</sub><br>ppm |
|------------|------|-----|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 29-11-82   | 27   | 7.7 | 6.2                          | 0.15                   | 0.058                  | 13.36                  |
| 06-12-82   | 26   | 7.8 | 6.8                          | 0.85                   | 0.080                  | 18.48                  |
| 13-12-82   | 27.5 | 8.1 | 6.1                          | 1.60                   | 0.070                  | 21.12                  |
| 20-12-82   | 28   | 7.0 | 6.0                          | 1.33                   | 0.075                  | 18.46                  |
| 27-12-82   | 28   | 7.8 | 6.0                          | 1.42                   | 0.118                  | 18.87                  |
| * 02-01-83 | 27   | 8.0 | 6.3                          | 1.24                   | 0.087                  | 18.79                  |
| 09-01-83   | 28   | 8.2 | 6.0                          | 1.63                   | 0.067                  | 20.12                  |
| 16-01-83   | 27   | 8.0 | 6.2                          | 1.47                   | 0.072                  | 18.72                  |
| 23-01-83   | 26.5 | 8.1 | 6.7                          | 1.39                   | 0.078                  | 18.57                  |
| 30-01-83   | 27   | 8.1 | 6.2                          | 1.27                   | 0.080                  | 17.49                  |
| 06-02-83   | 27   | 8.1 | 6.2                          | 1.39                   | 0.124                  | 18.47                  |
| 12-02-83   | 28   | 8.2 | 5.9                          | 1.52                   | 0.147                  | 19.38                  |

\*Introducción de agua nueva a la poza debido a pérdida por evaporación.

## VI. DISCUSION

El diseño del sistema permite que todo el volumen de agua se comporte homogéneamente, por su rápida recirculación y forma de flujos internos debido a que la salida del agua caliente es por la parte inferior de la compuerta. La salida del agua de aeración es por la parte superior del filtro biológico y la succión del agua o salida del agua del estanque a recircular es por la parte inferior del filtro. Entonces se crea una corriente con flujos invertidos por lo que la poza tiene la temperatura y calidad de agua homogénea en todos los puntos de la misma.

Los resultados obtenidos en el estudio de crecimiento se realizaron con un muestreo de 150 animales quincenalmente sobre una población de 30,000. Debido a las condiciones que se presentaron en dicho lugar, por lo tanto el número máximo de animales que se autorizó muestrear fueron 150.

Debido a que el número de organismos fué preestablecido por medio de una autorización, se realizó el análisis estadístico de error máximo por muestra con un 95% de confiabilidad para tener una idea más concreta y darle solidez y

validez tanto a los muestreos, como al experimento.

La distribución de los valores registrados en el último muestreo (6to.), presentan una mayor desviación en el peso, con respecto a los valores registrados en todo el período anterior.

Se puede atribuir en un momento dado que este aparente incremento en el peso pudiera ser debido a que las hembras de la población muestreada se encontraban muy posiblemente con los inicios de desarrollo gonadal, lo cual por ende obligó a los valores de peso a tener un aumento en la desviación calculada, no obstante presentan un error máximo bajo en el mismo muestreo.

Amant (1966), recomienda identificar por sexos a los animales y realizar la separación de hembras y machos a partir de los tres meses, su precocidad sexual permite que a los tres meses de edad, los juveniles de Tilapia sp. ya estén en condiciones de reproducirse.

Con el objeto de poder ubicar los resultados del crecimiento obtenidos durante este experimento, se obtuvieron valores de organismos cultivados en Santee California, por medio de la Universidad de Davis, en condiciones de cultivos intensivos tradicionales como se observa en la tabla V, la

TABLA V.- Tabla de las medias de peso y longitud, especificados en Santee, California por la Universidad de Davis según Amant (1966), y los pesos resultantes por la ecuación  $W = .2406L^{1.9529}$  obtenidos en Cerro Prieto.

| Santee California |            | Cerro Prieto |            |
|-------------------|------------|--------------|------------|
| Peso (gr)         | Long. (cm) | Peso (gr)    | Long. (cm) |
| 1.69              | 6.0        | 7.96         | 6.0        |
| 4.8               | 6.6        | 9.58         | 6.6        |
| 10.4              | 11.4       | 27.8         | 11.4       |
| 56.6              | 16.76      | 59.18        | 16.76      |

cual muestra una relación de peso contra longitudes medias correspondientes de Tilapia sp. Tomando las longitudes presentadas en Santee California, se calcularon los pesos correspondientes de los animales de Cerro Prieto por medio de la ecuación de crecimiento obtenida.

Observando que para animales de 6.0 cm de longitud los cultivados en Cerro Prieto pesaron 4.7 veces más que los de Santee California, los organismos de 11.4 cm de longitud pesaron 2.6 veces más, pero al final del experimento tuvieron un peso similar por lo que se puede llegar a asumir que el comportamiento final fué satisfactorio, observando a la vez un crecimiento más lento en la última quincena.

La gran diferencia que se reflejó en los pesos correspondientes a los animales que midieron 6.0 cm y 11.4 cm de longitud, se puede llegar a atribuir en un momento dado que los organismos de Cerro Prieto se encontraban en un ambiente controlado, por lo que no sufrieron stress producido por cambios bruscos en las variables físico-químicas dentro de la poza, por lo que se refleja una robustez mayor a los pesos promedios de sistemas tradicionales.

También se contempla una gran aproximación en el peso correspondiente a los animales que midieron 16.76 cm de lon

gitud. Esto se puede llegar atribuir a que los organismos empezaron a rechazar el alimento suministrado por lo que se refleja un bajo rendimiento alimenticio en el último muestreo. Por ende los organismos no siguieron presentando la robustez observada en los casos anteriores.

Los valores obtenidos del factor de conversión presentadas en la tabla II y la figura 11, nos permiten apreciar que el máximo de conversión alimenticia se obtuvo a la altura de los 60 días, y que observando la tendencia de las dos muestras anteriores el valor mismo mejora en .60 unidades - en el período citado.

Una semana antes del registro de este valor, la cantidad de peces contenidos en el sistema había sido afectada paulatinamente en su densidad. Dado que el cálculo inicial de 100 org/m<sup>3</sup>, a estas fechas se había convertido a 133 org/m<sup>3</sup> debido a la pérdida de agua del estanque por evaporación. Esto probablemente llegó a influir en el aprovechamiento -- alimenticio debido al estrés que sufren los organismos por causa de altas densidades por unidad de volumen.

Según especificaciones de la Secretaría de Pesca (1982) dice que la sobrecarga de los estanques de engorda puede acentuar el temperamento agresivo de la Tilapia sp., hace más

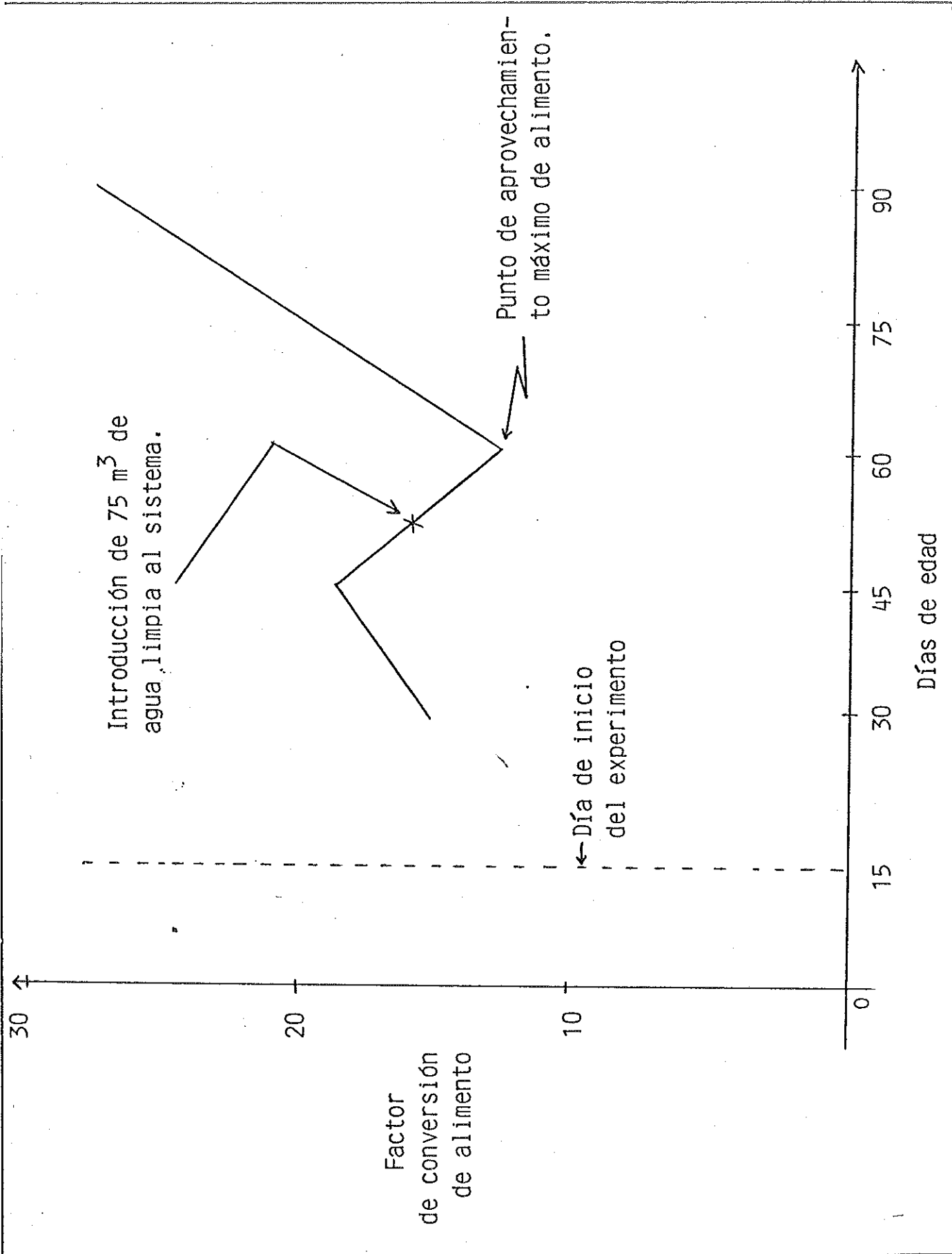


FIGURA 11 .- Gráfica de Factor de conversión de alimento de Tilapia zilli durante los 75 días de experimentación en Cerro Prieto.

difícil su alimentación, y obstaculiza un buen crecimiento del organismo.

Con esto se podría atribuir que en la quinta semana de observación llenando otra vez el estanque a su máxima capacidad, los animales volvieron a su densidad estimada ( $100 \text{ org/m}^3$ ) lo que se cree que es reflejado un aprovechamiento alimenticio máximo con un FCA = 1.35.

Después de este período el FCA de la población bajó -- considerablemente hasta 2.87, por lo que se considera que la Tilapia sp. presenta comportamiento de rendimiento bajo, donde Kirk, (1969), dice que conforme los animales van creciendo, presentan un rendimiento metabólico menor, por lo tanto el aprovechamiento alimenticio baja considerablemente. Para este experimento el factor de conversión de alimento total fué de 2.30, tomando en consideración que para Tilapia sp. según Saring y Arieli (1969), quienes reportan un FCA promedio de 2.65 probado con un alimento balanceado que contiene más de 25% de proteína.

Entonces se podría considerar que la conversión alimenticia se comportó un poco arriba de lo reportado para sistemas intensivos tradicionales.

Respecto al comportamiento térmico de la poza, la ener

gía geotérmica fué un factor determinante para la realización de este experimento como fuente calorífica, ya que debido a esta energía se logró mantener la poza a temperaturas óptimas que requiere el cultivo para Tilapia sp., para su desarrollo máximo, que comprende un rango de temperatura óptimo de 25°C a 30°C, según Kirk (1969).

La figura 12 muestra las curvas de comportamiento térmico de la poza en experimentación, como también las curvas de temperaturas máximas y mínimas diarias que se registraron durante el período de experimentación. Se observa que dentro del período de Noviembre y Diciembre se registraron temperaturas ambientales menores de 10°C, sabiendo de antemano que Kirk (1969), reporta un rango de temperatura letal de -6°C a 12°C para Tilapia sp., sin embargo la poza se mantuvo dentro de un rango de 27°C  $\pm$  1.5°C, no obstante que las temperaturas ambientales se presentaron sumamente bajas.

Haciendo referencia de los resultados obtenidos de  $\bar{T}^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2$ , pH,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ , y  $\text{NO}_3$ , durante el experimento, se podría asumir que la energía calorífica controlada, jugó un papel muy importante en las reacciones metabólicas con los desechos orgánicos producidos por los organismos, como lo muestra Colt y Armstrong (1979), donde recomiendan que para que el filtro biológico funcione eficientemente, la poza debe -

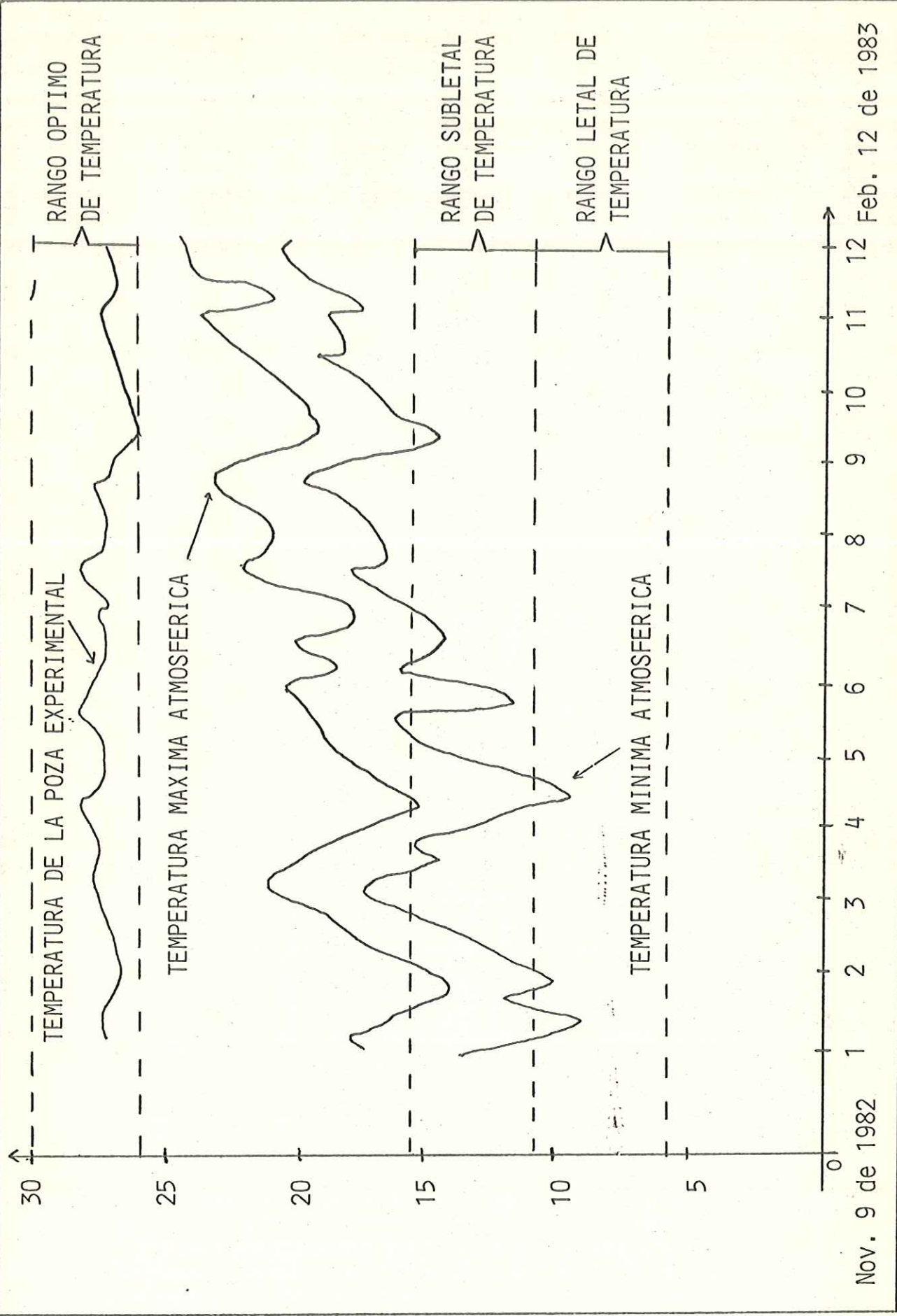


FIGURA 12: Gráfica comparativa de temperaturas ambientales y de la poza controlada por medio de un intercambio de calor de vapor geotérmico, con referencia de rangos óptimos y tolerancias para *Tilapia zilli*.

presentar un comportamiento térmico estable (aproximadamente 25°C), y además contar con la presencia de oxígeno en el medio filtrante.

Con el objeto de poder ubicar los resultados obtenidos en las mediciones de los parámetros físico-químicos, la tabla VI muestra una comparación directa de los resultados de la poza en experimentación con los parámetros en condiciones óptimas y a su vez con los rangos de tolerancia para Tilapia sp. que reporta Amant (1966). Se observa que con respecto a  $O_2$  y pH, los rangos que se registraron durante el experimento se encuentran dentro de las condiciones óptimas y con respecto a  $NH_4$ ,  $NO_3$ , y  $NO_2$ , los resultados de calidad de agua en el sistema que se obtuvieron en Cerro Prieto se encontraron más abajo que los puntos críticos de tolerancia para Tilapia sp.

Por ende se podría considerar que el sistema de control y filtración del agua de la poza en prueba funcionó adecuadamente.

TABLA VI.- Tabla comparativa de los resultados físico-químicos obtenidos en Cerro Prieto de los rangos óptimos y rangos de tolerancia subletal para Tilapia, según Amant (1966).

| Parámetros físico-químicos | Sistema de recirculación en Cerro Prieto | Condición óptima | Rangos máximos de tolerancia subletal |
|----------------------------|--|------------------|---------------------------------------|
| Tº C                       | 26.5 - 28.5                              | 26ºC - 30ºC      | <6ºC - >36ºC                          |
| O <sub>2</sub> mg/lit.     | 5.4 - 6.8                                | 6.0 - 7.5        | <2.9 >10                              |
| pH                         | 7.7 - 8.2                                | 7.0 - 8.0        | <5 - >9.5                             |
| NH <sub>4</sub> mg/lit.    | .15- 1.63                                | cero             | No hay registro                       |
| NO <sub>3</sub> mg/lit.    | 13.36-18.47                              | cero             | > 28                                  |
| NO <sub>2</sub> mg/lit.    | .058-.162                                | cero             | > 4.9                                 |

## VII. CONCLUSIONES

1.- Se comprobó que el Campo Geotérmico de Cerro Prieto presenta un gran potencial para su utilización en actividades acuaculturales, mediante los desechos de vapor.

2.- El funcionamiento térmico de la poza pudo ser mantenido mediante el sistema de intercambiador de calor, dentro de los rangos óptimos de temperatura de la especie utilizada.

3.- Los parámetros físico-químicos registrados durante el período de experimentación se mantuvieron dentro de los rangos óptimos de la especie, mediante el soporte del filtro biológico, que mantuvo a la poza con una calidad de agua satisfactoria.

4.- El crecimiento registrado durante el experimento se puede considerar satisfactorio con respecto a los sistemas tradicionales.

5.- El Factor de Conversión de Alimento obtenido se considera satisfactorio, con respecto a los valores estandar para la especie.

## VIII. RECOMENDACIONES

1.- Para trabajar con Tilapia zilli, se recomienda utilizar un alimento más económico que el usado en este experimento, ya que es un animal con un valor muy bajo en el mercado para consumo humano.

2.- Es importante tener en cuenta a la Tilapia zilli como un pez para forraje, ya que presenta un índice de conversión alimenticio alto a temprana edad, y además presenta una madurez temprana.

3.- Para trabajos de crecimiento mayores de tres meses, se recomienda identificar por sexos a los animales para así tener un mejor control.

4.- Referente al sistema de control físico-químico en Cerro Prieto, se recomienda hacer un trabajo sobre capacidad de carga del sistema, para así conocer con exactitud su soporte de carga animal por unidad de volumen total del sistema.

## IX. REFERENCIAS

- Amant, J.A., (1966). Progress report of the culture of Tilapia Mosambica (Peters) hybrids in Southern California.
- Colt, J. y Armostrong, D., (1979). Nitrogen toxicity to fish crustaceans and molluscs. Department of Civil Engineering University of California.
- Comisión Federal de Electricidad., (1978). Segunda reunión Nacional de intercambio técnico de Geología y Geotermia.
- Geología y Minería, S.A., (1980). Reporte preliminar de --- "Usos alternos de la Energía Geotérmica Residual".
- Huet Marce., (1972). Textbook of fish culture fishing news book LTD. Pag. 6-55 y 174-299.
- Kirk R.G., (1969). A review of recent developments in Tilapia culture, with special reference to fish farming in the heated effluents of power stations.
- Le Creen E.D., (1951). The lenght-weight relationship and - seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (Perca fluviatilis). J. Anim. Ecol. 20, Pag. 201-219, y 126-129.

- Mironova, NV, y Skvortsova, T.A., (1967). Growth of Tilapia mosambica deters and relationship to feeding.
- Ricker W.E., (1975). Computation and interpretation of biological statics of fish populations. Department of - the environment fisheries and marine service.
- Saring S., y Arieli Y., (1969). Growth capacity of Tilapia in intensive culture.
- Schwarz, N., (1977). Guide to commercial hydroponics. - Israel University Press Keter Publishing House. Jerusalem LTD.
- Secretaría de Pesca, (1982). Manual Técnico para el cultivo de la Tilapia. Dirección General de Acuacultura.
- Secretaría de Pesca, (1980). El factor de condición múltiple y factor de conversión de alimento. Manuales Técnicos de acuacultura.
- Sokal, R. R., y F. J. Rohlf., (1969). Biometry, the principles and practice of stadistics biological research. State Univ., of New York at Stony Brook, W. H. Freeman and Co., Pag. 391-394.
- Swimquip., (1980). Swimquip fesvertical of filters. A divi\_sion of Wylain, Inc.

Swimquip., (1980). Swimquip water pumps manual. A division of Wylain Inc.

Wheaton, F. W., (1977). Aquacultural engineering. John Wiley & Sons.