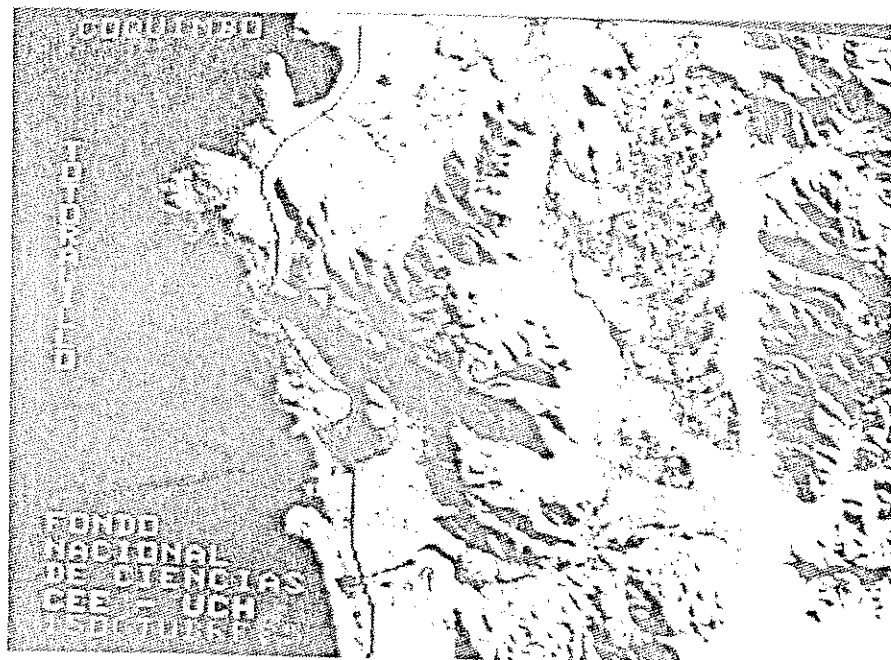


PAT 771/10 521

fondo nacional de ciencias
proyecto N° 00114-84



Estudio de las Neblinas
Costeras

Sector : "Totoralillo"

IV Region-Chile

Universidad de Chile

cee

CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES

Octubre 1985

En este proyecto de investigación han participado las siguientes personas:

Investigador principal:

Carlos G. Pattillo B.
Ingeniero Civil

Coinvestigador:

Nazareno Carvajal R.
Geógrafo

Colaboradores:

Mónica Ihl T.
Geógrafo

Urano Figueroa
Ingeniero Ejecución Electrónico

Sergio Ehijo B.
Ingeniero Civil Electrónico.



I Introducción

El ecosistema natural es un ambiente cíclico cerrado en el cual subsisten en armonía la vida vegetal y animal, apoyados en un sistema de clima y suelo que los adecúan de acuerdo a sus características específicas.

Los ecosistemas son conjuntos dinámicos que se modifican por dos causas:
a) causas naturales y b) acción del hombre.

En general las modificaciones naturales son lentas y en la mayoría de los casos, del tipo positiva. Es decir, las variaciones naturales tienden a mejorar el ecosistema en todo sentido.

Las modificaciones antrópicas en cambio se han caracterizado por su efecto negativo sobre el ecosistema, esto por su acción de explotación indiscriminada sobre el medio sin planes de manejo racionales.

Para entender bien el proceso cíclico involucrado hay que conocer a fondo las interrelaciones en clima-vegetación; vegetación-suelo y con ellas el equilibrio de la fauna.

La acción del hombre ha sido orientada principalmente sobre la vegetación y la fauna. Al desaparecer la vegetación se modifica el clima y por efecto de la erosión desaparecen suelos que tardaron miles de años en formarse.

Restablecer las condiciones iniciales parece una tarea titánica, pero, ante la evidencia de transformar nuestro territorio en un desierto se hace necesario comenzar acciones orientadas a este objetivo.

Una de las mayores interrogantes es cómo interactuar con el clima, ya que éste es un fenómeno natural y para muchos de carácter impredecible, sin embargo, en Chile, es posible aprovechar ciertas condiciones climáticas existentes tales como el fenómeno de la neblina que se presenta a lo largo del litoral del norte chico y norte grande. Esto se logra mediante aparatos artificiales que cumplen la misma función que tendría la vegetación, si esta existiese.

Estos aparatos son captadores de neblina y su función es condensar el agua existente en ellas y acumularla para irrigar artificialmente la vegetación introducida en el lugar. Al crecer esta vegetación comienza a captar el agua con su follaje y se reestablece así un ciclo interrumpido arbitrariamente por el hombre.



Esta no es una idea nueva en nuestro país, ya que se han realizado numerosos estudios sobre diferentes diseños de atrapanieblas, pero los esfuerzos por aprovechar los recursos de agua así obtenidos han sido relativamente pocos.

En este sentido, en 1956, en la Universidad del Norte, se realizó la primera experiencia en la construcción de captadores de neblina y se determinó que era posible captar mayores volúmenes modificando la estructura de los captadores, llegándose al diseño conocido como macro-diamante.

En 1977 se completó un informe dirigido al PNUMA con la intención de implementar un proyecto sobre el aprovechamiento de las neblinas costeras.

Se creó posteriormente, un comité especialmente dedicado al estudio del fenómeno de la neblina en Chile, bajo la coordinación del Programa Hidrológico Internacional (PHI), el que basó su trabajo en las experiencias obtenidas en la Universidad del Norte y algunos estudios realizados en el año 1971-1972 por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (1).

Dada su importancia, el tema ha sido ampliamente discutido en numerosos congresos y reuniones de carácter internacional (1979 Tacna, 1980 La Serena y 1981 Antofagasta) concluyéndose que en Chile se posee antecedentes numerosos sobre la captura del agua y que en Perú se tiene gran experiencia de los aspectos biológicos y ecológicos. Miles de hectáreas en las cuales la cubierta vegetal se sostiene solamente por la presencia de neblinas (Lomas de Lachay en Perú y Fray Jorge en Chile), son ejemplos de ecosistemas en que los volúmenes de agua captados por la vegetación les permiten autoabastecerse.

También se ha demostrado que al crecer esta vegetación, aumenta la capacidad de captura de agua con efectos colaterales de importancia a nivel de ecosistema, ya que el agua captada no sólo sirve a la subsistencia de la vegetación, sino que además el exceso de agua se infiltra, alimentando pequeños manantiales que mantienen vegetación en zonas apartadas del lugar afectado por neblinas.

-
- (1) Antecedentes sobre utilización de la camanchaca. Documento redactado por equipo de expertos Peruanos para presentación a reunión del "Grupo Camanchaca" - Junio 1981 - Antofagasta.



Por su parte el Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile inició algunos estudios destinados a cuantificar los montos de captación de agua, la altitud, la altura con respecto al suelo y la orientación en la cual se obtendría una captación óptima, estimándose también la variación del volumen de agua captado a lo largo del año (2).

La Corporación Nacional Forestal con fondos de SERPLAC de la IV REGION le ha dado un nuevo impulso al estudio de las neblinas costeras, instalando tres parcelas de evaluación de especies forestales, (Cuesta Cavilolén, Fray Jorge y El Tofo).

Sin embargo, estos lugares presentan condiciones muy ideales del fenómeno que hacen difícil la extrapolación de las experiencias hacia otras zonas.

Por este motivo el Centro de Estudios Espaciales inició una nueva investigación destinada a resolver las interrogantes que aún persisten sobre el comportamiento de las neblinas y su relación con las variables meteorológicas, instalando para ello una estación experimental en el cerro Totoralillo 20 Km al sur de La Serena.

-
- (2) Antecedentes generales, observaciones y cuantificación de la neblina en el sector El Temblador IV Región - autor Nazareno Carvajal., memoria de título - Instituto de Geografía - Universidad Católica, Sept. 1982.

Las imágenes utilizadas en el análisis corresponden al período 1980-1985, totalizando cerca de 270 imágenes.

En ellas se determinó visualmente la presencia o no de nubes bajas frente a la costa y su penetración continental.

La Fig.2 es un ejemplo de las imágenes analizadas y abarcan el sector entre Iquique y la Ligua para el 15 de Agosto de 1983.

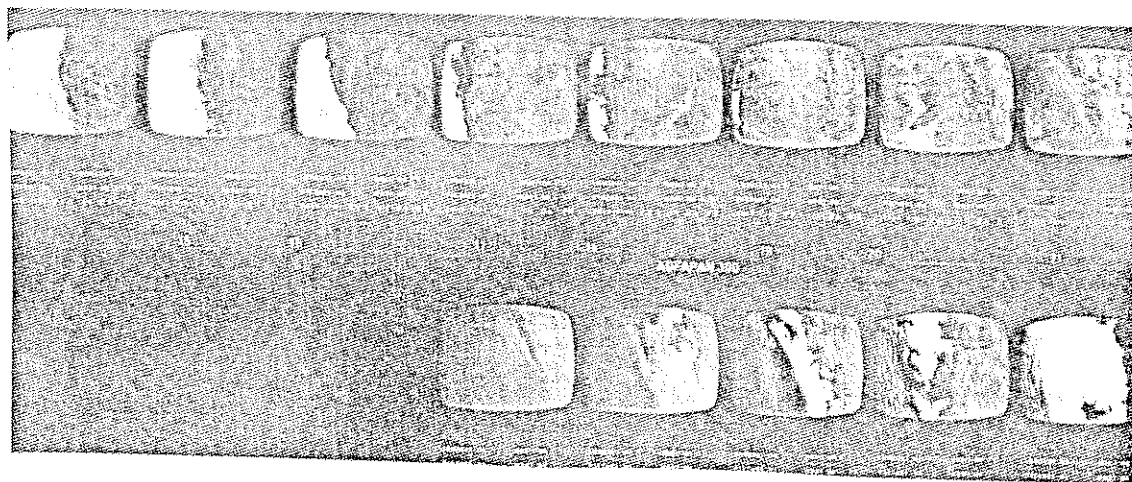


Fig.1
Secuencia de imágenes Landsat en quick look fecha 15/08/83



Para la selección final del área, se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

- a) Accesibilidad
- b) Cercanía al mar (menos de 15 Km)
- c) Altitud (sobre 500 metros)
- d) Seguridad de las instalaciones
- e) Estar comprendida en la zona de influencia de la neblina, determinada en el estudio de las imágenes de satélite, según se muestra en la Fig.1 (mapa penetración).

De esta manera, resultaron con buenas condiciones 6 lugares comprendidos entre el río Los Choros y el río Choapa en la IV Región (Fig.2). No se investigó otros posibles lugares más al norte por razones de distancia.

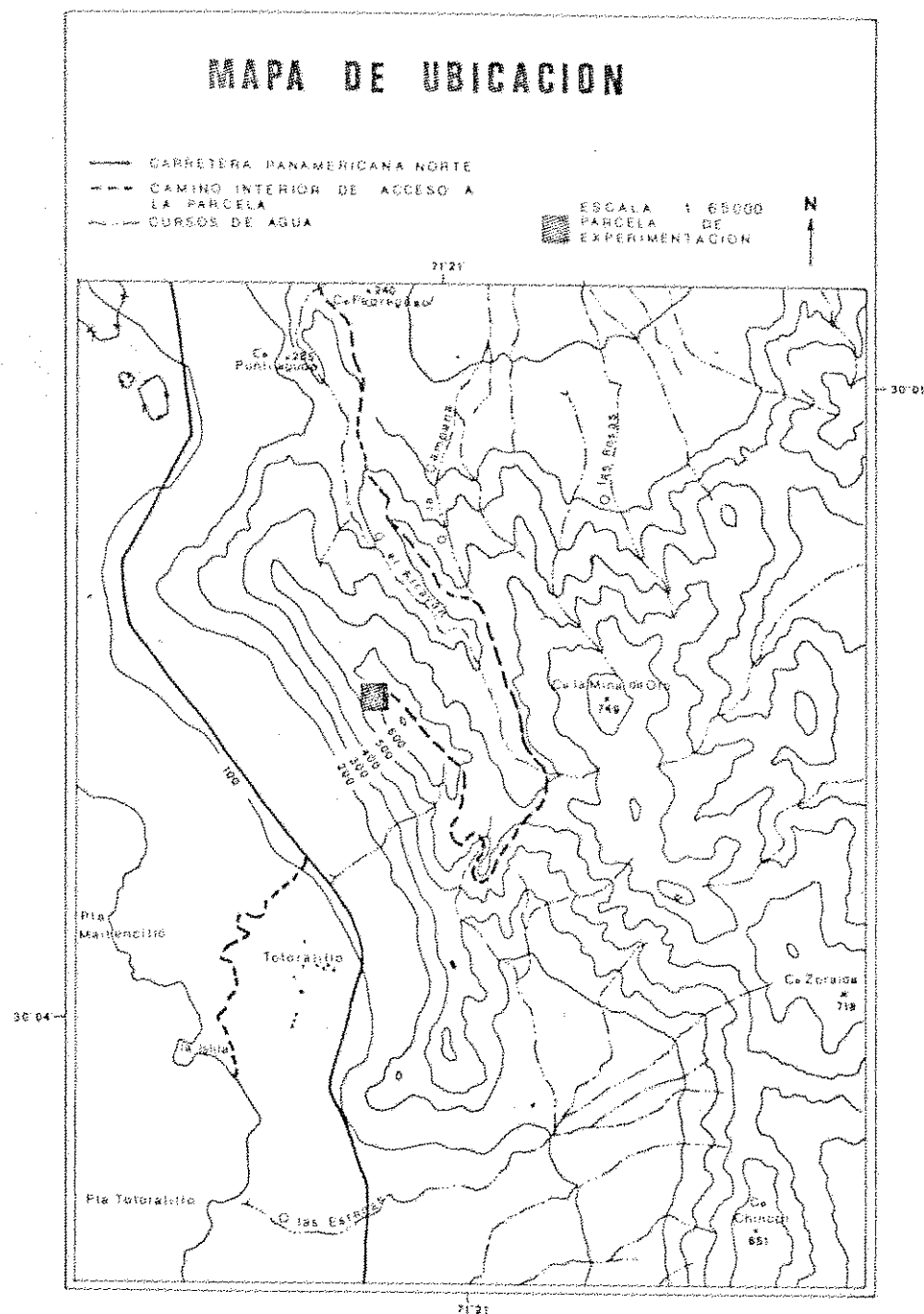


Fig.2

Mapa de ubicación de lugares aptos para la captación de neblina en la IV Región



El lugar elegido se ubica en uno de los cerros del cordón costero frente al balneario Totoralillo a 10 Km al sur de Coquimbo. Fig.3.





Las condiciones del lugar son las siguientes:

- a) Acceso hasta la cumbre por camino secundario interior
- b) Cercanía al mar de 1 kilómetro
- c) Altitud 650m.
- d) Existe una familia que se hará cargo de cuidar la parcela y realizar las mediciones.

La Fig.4 corresponde a una ampliación de una imagen Landsat del sector elegido.

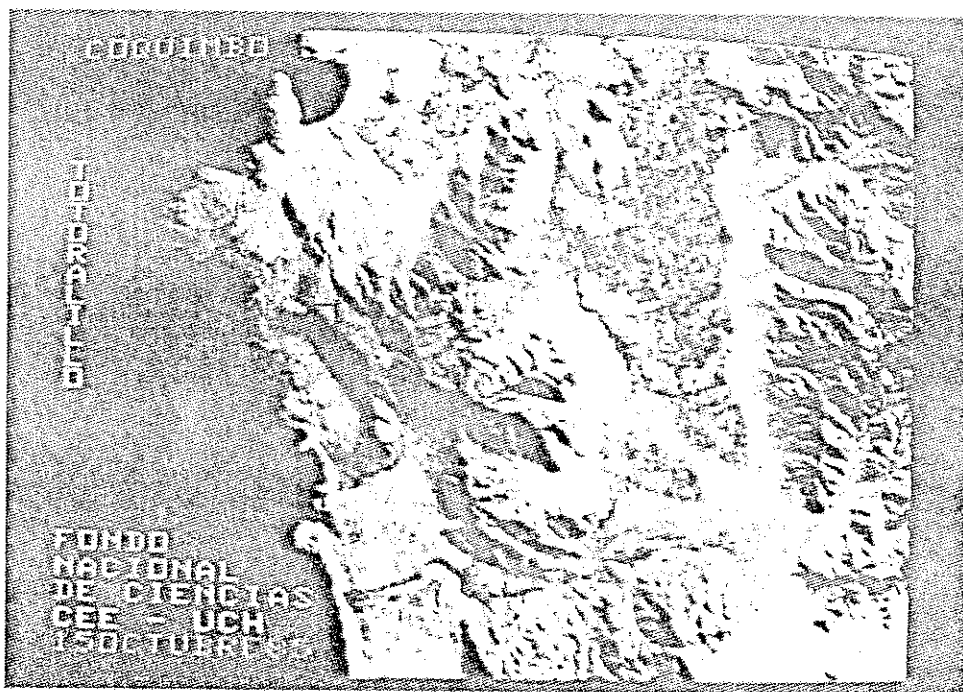


Fig.4
Imagen Landsat

En ella se puede apreciar que la parcela de experimentación se encuentra en un cordón costero muy próximo al mar, de orientación casi norte-sur, entre el río Elqui y el estero Lagunillas, conformando un macizo aislado de la cordillera de la Costa.



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

Como una forma de aprovechar el agua recolectada por los neblinómetros se plantaron 91 ejemplares de árboles y arbustos, que serán regados una vez a la semana (por dos personas contratadas para ese fin) con el agua acumulada en 2 tanques de 200 litros. Desde el punto de vista fitogeográfico pudimos corroborar las excelentes condiciones atmosféricas y pedológicas existentes, necesarias para el buen desarrollo de árboles y arbustos.

En el sector de la parcela la profundidad del suelo varía entre 15 y 30cm, con un gran aporte de material descompuesto proveniente de la roca madre (granito altamente meteorizado) y también materia orgánica fresca.

Los árboles que se plantaron corresponden a las siguientes especies.

Prosopis Chilensis (Algarrobo)
Cesalpineia espinosa (Tara)
Eucaliptus Camaltunensis
Eucaliptus globulus
Eucaliptus gomphocephala
Atriplex repandae
Atriplex numularia
Acacia cyanophila

Todas estas plantas quedaron dentro del área cercada y en lugares que no interfieran los instrumentos (al menos no se desarrollen totalmente) y manteniendo una distancia promedio de 2m entre una y otra planta.

Posteriormente y a manera de experimentación se plantaron 15 semillas de maíz, pues se tiene en mente desarrollar una pequeña parcela agrícola.

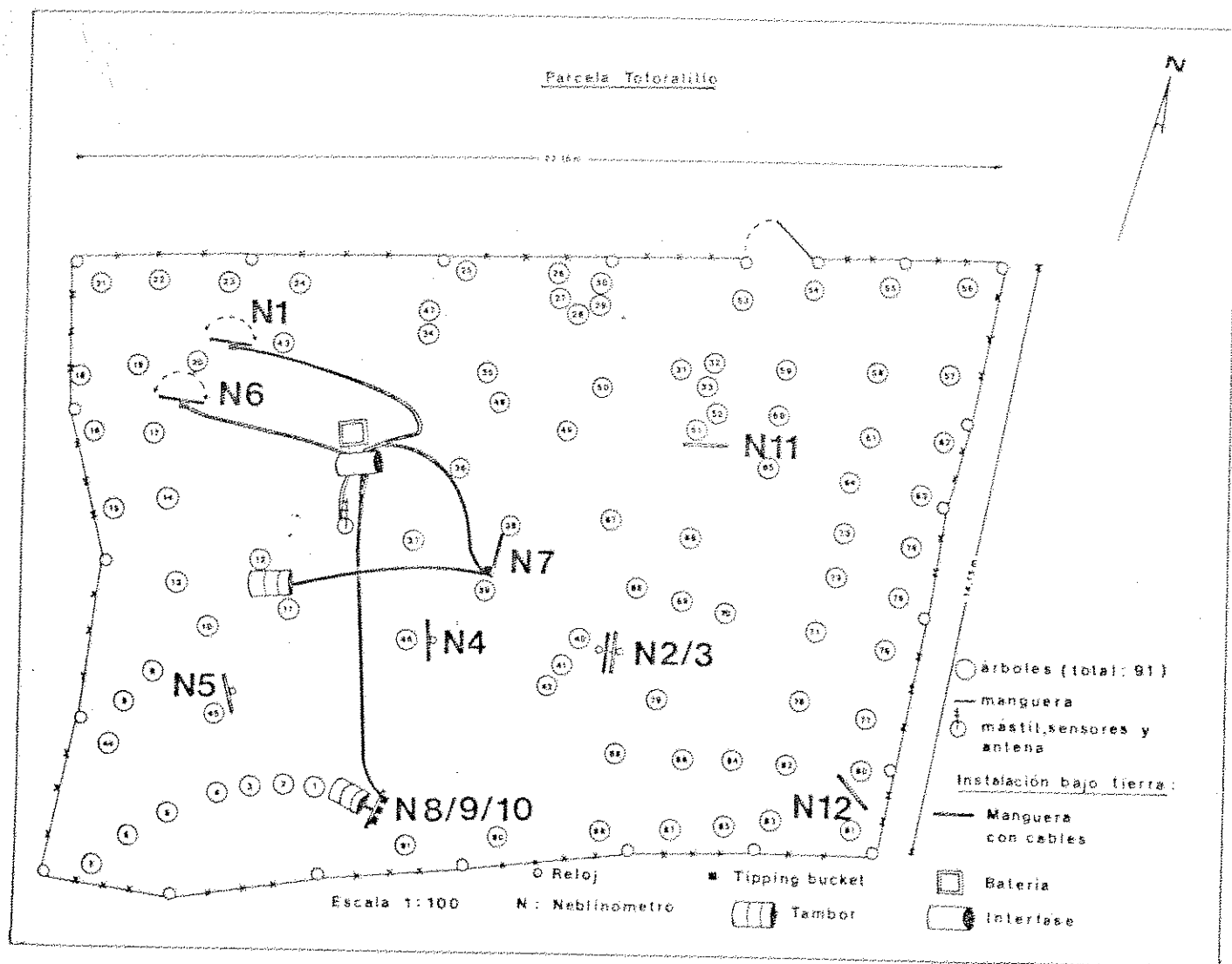


Fig.5
Plano de parcela "Totoralillo".



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPECIALES
DIVISION NASA

En la tabla siguiente se indica a qué especie vegetal corresponde el número que aparece en las circunferencias de la Fig.5 (parcela Totoralillo).

Nº	ALT. CM.	ESPECIE	Nº	ALT. CM.	ESPECIE
1	45,0	EC	47	12,5	CE
2	41,0	EC	48	18,0	AN
3	34,0	EC	49	21,0	PC
4	35,0	EC	50	21,3	AC
5	41,0	EC	51	18,0	EC
6	43,0	EC	52	30,0	JUN
7	46,0	EC	53	21,0	AC
8	58,0	EC	54	29,5	PC
9	45,0	EC	55	26,0	AR
10	27,0	EC	56	17,0	CE
11	39,0	EC	57	16,0	AN
12	54,0	EC	58	15,0	CE
13	42,0	EC	59	19,0	AR
14	57,0	EC	60	23,5	PC
15	42,0	EC	61	25,0	PC
16	46,0	EC	62	22,0	AC
17	39,0	EC	63	19,0	CE
18	52,0	EC	64	28,5	AR
19	41,0	EC	65	25,0	EG
20	41,0	EC	66	24,0	AN
21	33,0	EC	67	24,0	CE
22	38,0	EC	68	29,0	PC
23	50,0	EC	69	25,0	AN
24	33,0	PC	70	24,0	PC
25	18,0	EC	71	14,5	CE
26	45,0	EC	72	20,0	EG
27	38,0	EC	73	29,0	PC
28	40,0	EC	74	22,0	AN
29	42,0	EC	75	22,0	AG
30	36,0	EC	76	29,0	AN
31	42,0	EC	77	24,0	PC
32	32,0	EC	78	29,0	AC
33	52,0	EC	79	21,0	EG
34	49,0	EC	80	20,0	CE
35	41,0	EC	81	19,0	AC
36	13,0	EC	82	24,0	AR
37	44,0	EC	83	23,0	EG
38	36,0	EC	84	32,0	PC
39	30,0	EC	85	17,0	CE
40	30,0	EC	86	22,0	AN
41	39,0	EC	87	30,0	EG
42	43,0	EC	88	14,0	CE
43	26,5	EC	89	23,5	PC
44	18,0	EC	90	23,0	CE
45	27,0	EC	91	23,0	AC
46	23,0	EC			

SIMBOLOGIA

PC =	Prosopis chilensis (Algarrobo)
CE =	Caesalpinia espinosa (Tara)
EC =	Eucaliptus camaldulensis
EG =	Eucaliptus Gomphocéphale
AR =	Atriplex repanda
AN =	Atriplex numularia
AC =	Acacia cyanophila



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

El lugar de instalación de los instrumentos fue cercado con malla de alambre para evitar daños causados por los animales y proteger los equipos.

El plano escala (aprox.) 1:155 (Fig.5) muestra la ubicación de las instalaciones en el interior de la parcela.

Los instrumentos instalados hasta el mes de Octubre de 1985 son los siguientes:

<u>DENOMINACION</u>	<u>TIPO</u>
N1	Panel móvil de 0,25m ² , malla raschell x ambas caras.
N2/3	Panel fijo doble de 0,25m ² , filamento nylon x ambas caras.
N4	Panel fijo de 0,25m ² , malla raschell x ambas caras.
N5	Panel fijo de 0,25m ² , malla acero simple.
N6	Panel móvil de 0,25m ² , filamentos nylon x ambas caras.
N7	Panel fijo de 4m ² , malla raschell x ambas caras.
N8/9/10	Panel fijo compuesto en tres segmentos verticales - N8 = 2m ² - N9 y N10 = 1m ² con malla raschell por ambas caras.
1 Plataforma colectora de datos compuesta por:	
- Microprocesador y transmisor	
- 2 baterías	
- Paneles solares (2)	
- Antena	
- Sensores:	
	1) Dirección de viento
	2) Velocidad de viento
	3) Temperatura del aire (2,5m)
	4) Radiación solar

En cada atrapaniebla se instaló un sistema de medición del volumen de agua captado compuesto de: 1 tipping bucket (balanza con 2 capachos), 1 reloj contabilizador.

Además los atrapanieblas N1, N6, N7, N8, N9 y N10 se conectaron a la plataforma, mediante un interruptor de mercurio. Para esto se diseñó y construyó 6 circuitos electrónicos especiales para contar los movimientos del tipping bucket.

Los datos de los sensores son leídos por la plataforma cada media hora, acumulados en memoria y enviados a Santiago vía satélite cada tres horas.

La foto de la Fig.6 muestra el mástil de la plataforma con sus sensores meteorológicos, la antena y paneles solares.

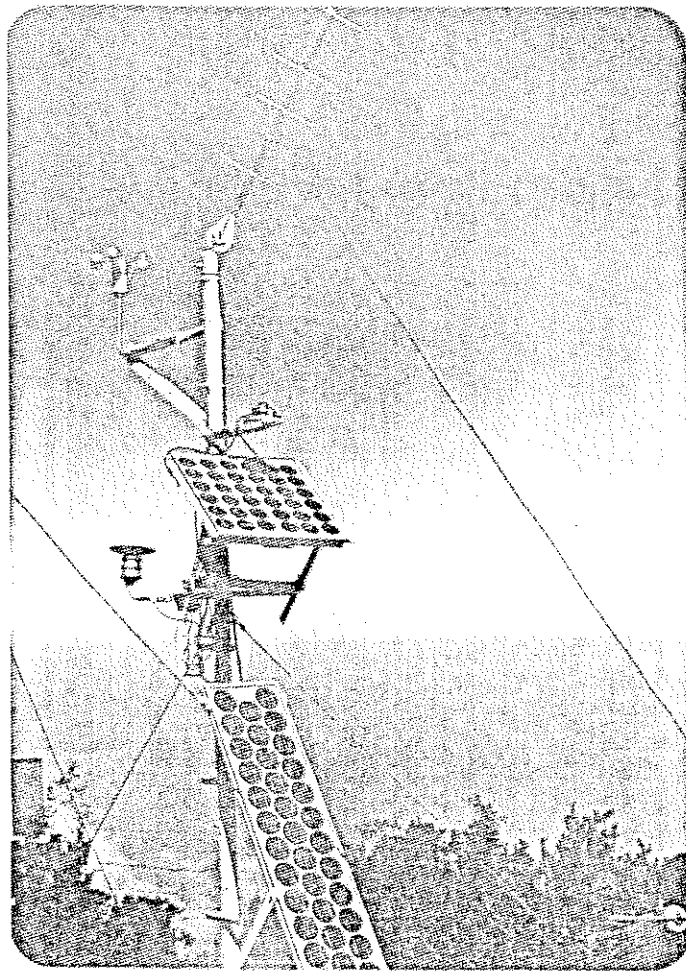


Fig.6
Plataforma Colectora de Datos



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPECIALES
DIVISION NASA

III Objetivos e hipótesis de trabajo

El objetivo general de esta investigación es aportar nuevos antecedentes, para lograr un mejor conocimiento del comportamiento de las neblinas costeras en la IV Región.

Como objetivo específico, se plantea la necesidad de resolver algunas interrogantes sobre el comportamiento del fenómeno.

Para cumplir estos objetivos se plantearon las siguientes hipótesis de trabajo y/o preguntas.

1. La captación de agua es máxima, cuando el panel está orientado perpendicularmente a los vientos predominantes de la zona.
2. ¿ A qué temperatura se produce la mayor captación?.
3. ¿ A qué hora del día se produce la máxima captación?.
4. Existe una velocidad de viento óptima para la máxima captación, velocidades mayores o menores implican una menor captación.
5. La captación depende del tipo de material (densidad, características térmicas).
6. Un panel con divisiones intermedias (segmentos) debería captar más que un panel de igual superficie pero continuo.

Dada de antemano estas hipótesis y preguntas, los atrapanieblas e instrumentos instalados, fueron diseñados para dar respuesta a cada una de ellas en la mejor forma posible.



IV Análisis de resultados

Los resultados obtenidos hasta la fecha nos permiten analizar las hipótesis y preguntas planteadas, sin ser necesariamente concluyentes en este momento ya que para ello es necesario analizar al menos el período de un año de mediciones.

De los antecedentes obtenidos anteriormente se concluye que el viento que produce la mayor captación de agua, es el proveniente del oeste y que por lo tanto los atrapanieblas deben ser orientados de norte a sur, para que su cara o superficie de captación quede perpendicular a la dirección del viento (informe CONAF-SERPLAC/1985).

No obstante lo anterior, la fig.7, correspondiente al gráfico de frecuencia de dirección de viento y volumen captado, muestra una situación totalmente distinta. En ella se aprecia una dirección de viento predominantes sur sur oeste (SSW) y sur oeste (SW) (19,8%) pero con una captación de agua 57,6 litros, bastante inferior a lo captado con dirección norte y nor nor este (221,1 litros) y cuya frecuencia de vientos es de 19,7%.

Analizando la dirección de viento, en los momentos cuando se produce la captación (gráfico Fig.7), podemos observar que el viento predominante es del norte (23,96%).

Es lógico concluir que la mayor captación debería producirse en esta dirección (norte) sin embargo vemos según la Fig.7 que ésta se produce con dirección NNE.

Este resultado se explica por la orientación en la cual fueron instalados los atrapanieblas (norte-sur de acuerdo a criterios anteriores) por lo que oponen la mínima superficie al paso de la neblina, produciendo una menor captación.

Como conclusión general a nuestra primera hipótesis, podemos decir que el fenómeno de la neblina varía de acuerdo a condiciones locales (de topografía y corrientes atmosféricas) y que siempre será necesario estudiar previamente las distintas situaciones de vientos.

Análisis en función de la temperatura

La Fig.8 muestra la relación entre la frecuencia de captación para un determinado rango de temperatura y el volumen captado.



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

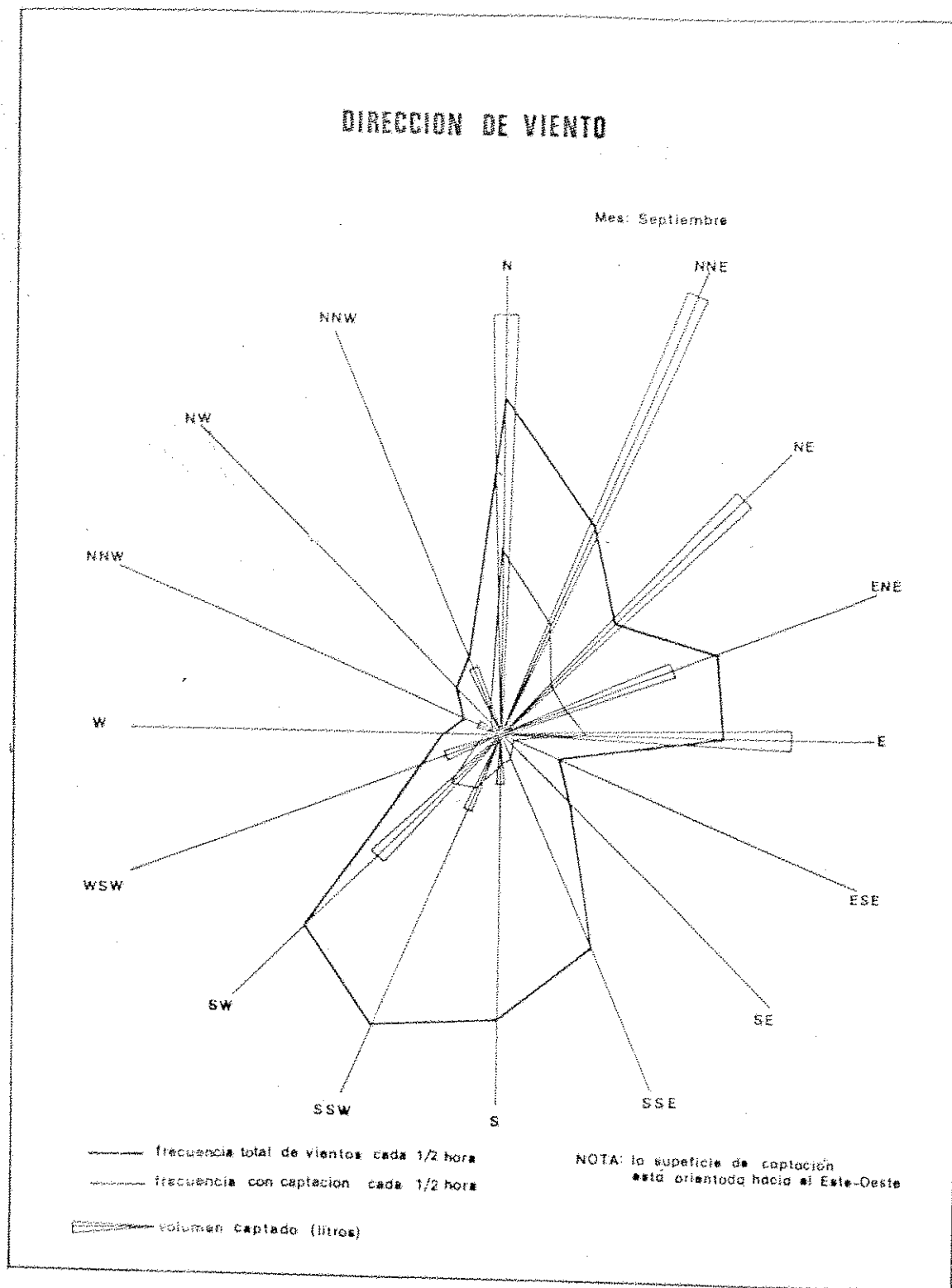


Fig.7
Frecuencia y volumen captado según la dirección de viento



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

El 70,4% de la captación total se produce cuando la temperatura oscila entre 5 y 6°C con una frecuencia de un 50,5%.

Analizando el comportamiento de los rangos de temperatura adyacentes a este óptimo, vemos que la relación entre frecuencia y volumen captado no se mantiene y es más favorable cuando la temperatura es menor. Así en el rango de 4 a 5°C tiene una frecuencia de solamente un 13,2%, pero una captación de 13,5%, en comparación con el rango de 6 a 7°C que tiene una frecuencia de un 18,8% y una captación de 7,8%.

Si lo vemos de otra manera, el rendimiento promedio por captación para estos rangos de temperatura, es el siguiente: de 4 a 5°C es de 1,6 lt/cap.; de 5 a 6°C es de 2,18 lt/cap. y de 6 a 7°C es de 0,65 lt/cap para el mes de Septiembre.

Análisis en función de la hora del día

El gráfico de la Fig. N°9 muestra la relación que tiene la frecuencia y volumen captado para cada hora del día.

El ciclo de captación diaria es bastante claro en el gráfico. La captación de agua durante el día (12 a 18 horas), tiene un rendimiento por captación muy bajo (1,5 lt/cap), en comparación con el rendimiento obtenido entre las 19 y 11 horas en la cual el rendimiento es superior a 2,5 lt/cap., y el máximo se produce entre las 2 y 6 de la madrugada con un rendimiento de 4,4 a 4,8 Lt/cap.

Análisis en función de la velocidad

Para realizar este análisis se instalaron los atrapanieblas móviles, que tienen la ventaja de independizar la velocidad de la dirección de viento (es decir siempre orientados con la máxima superficie de captación perpendicular al viento).

Sin embargo, los datos disponibles hasta el momento son muy pocos, como para hacer confiable cualquier análisis.

Por otro lado el volumen captado depende también de la densidad de la neblina y aún no se ha instalado el sensor que mida este parámetro en forma automática.



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

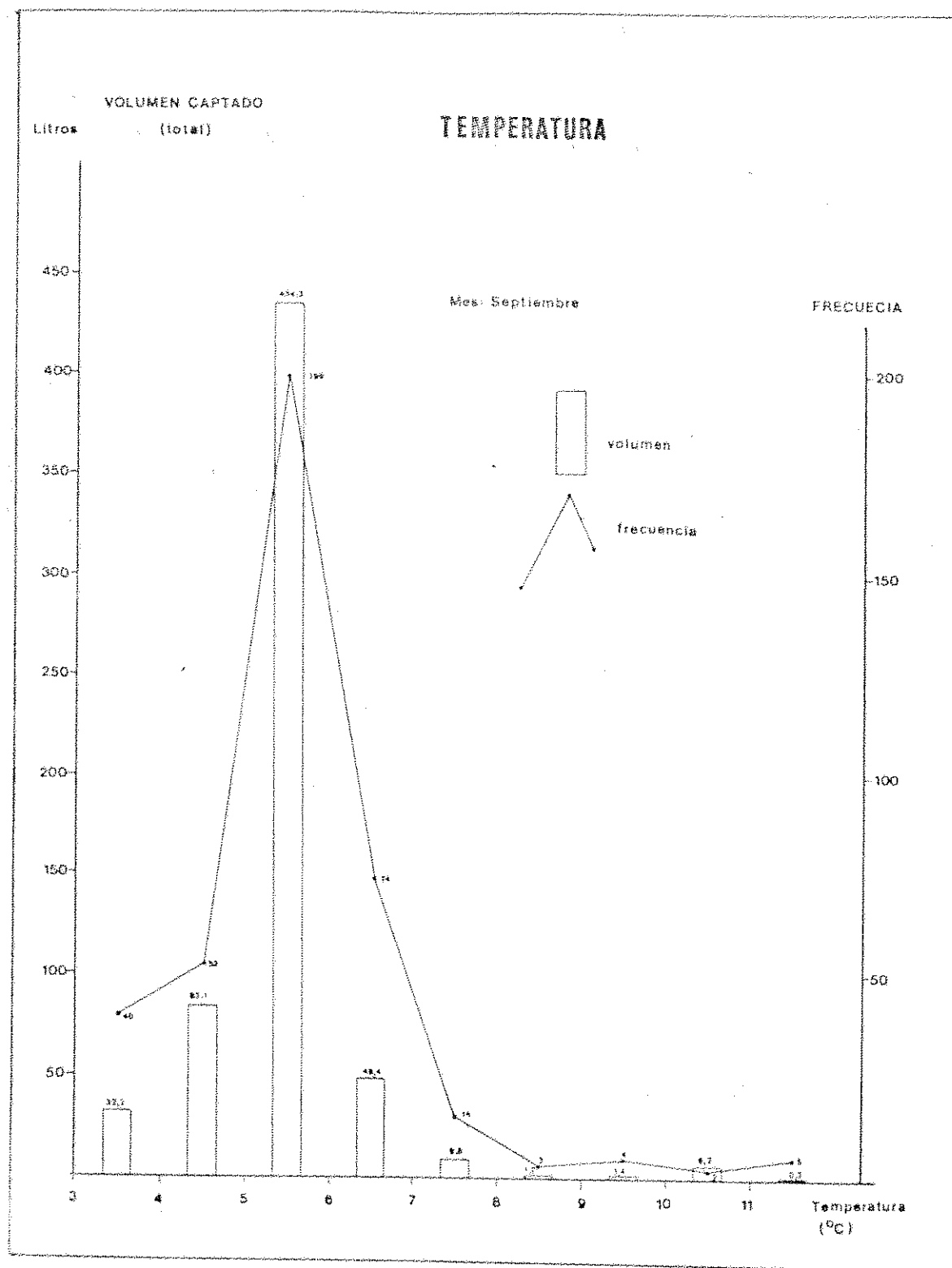


Fig.8
Frecuencias y volúmenes según rangos de temperatura en el mes de Sept.



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

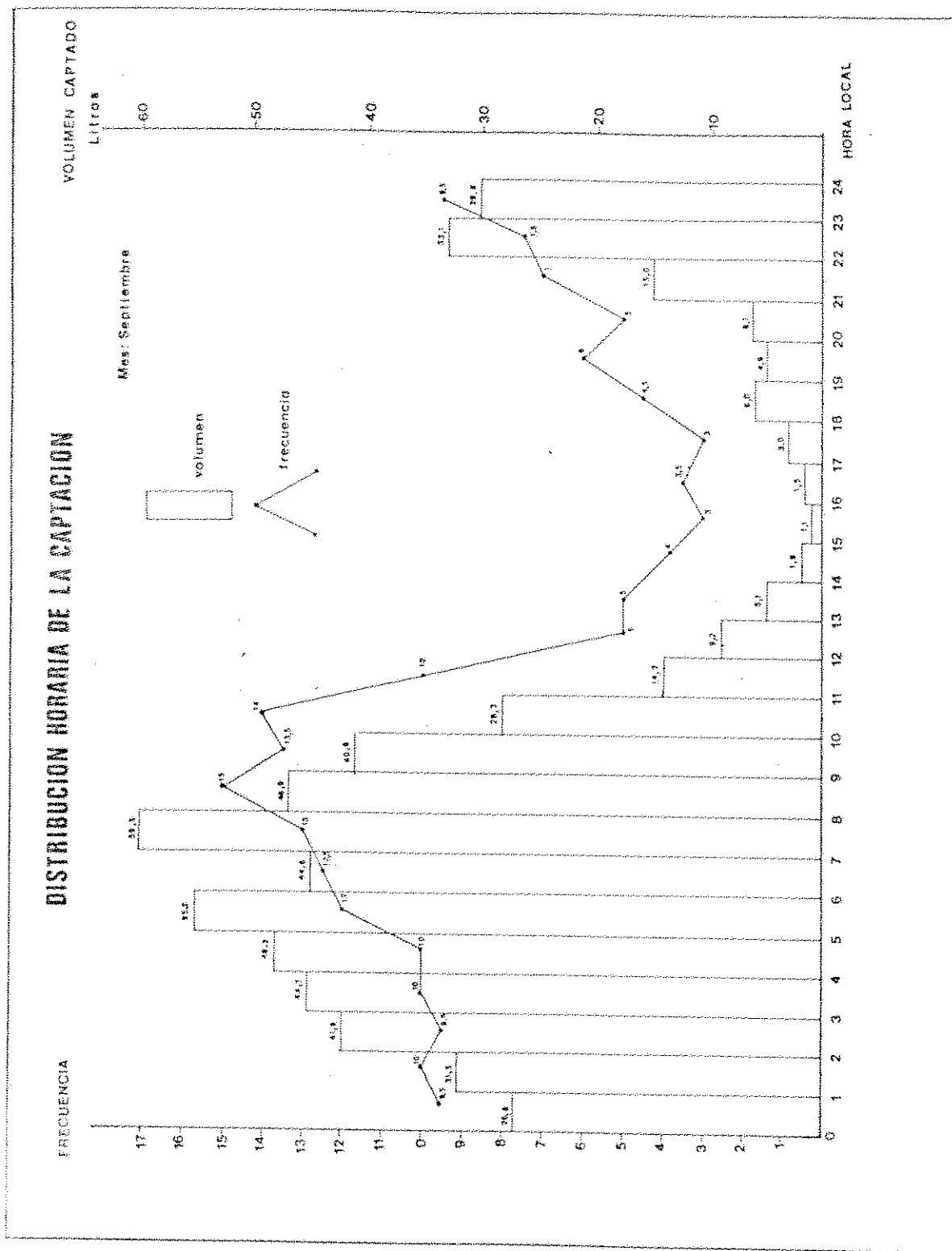


Fig.9
Distribución horaria de la captación



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

Por esta razón la hipótesis 4, queda por el momento sin respuesta y será tema de investigación a futuro.

Análisis de los materiales

Desde el punto de vista práctico-económico se ha confirmado que la malla del tipo raschell resulta la más apropiada para la construcción de los atrapaneb_linas.

Las ventajas de esta malla son:

- a) Facilidad de instalación
- b) Altamente durable
- c) Bajo costo por m^2 (\$ 41,8 m^2)
- d) Posibilidad de simplificar la estructura de los paneles.

Análisis de rendimiento según tipo de captador

La Fig.10 es un gráfico resumen del volumen captado con los diferentes tipos de atrapaneb_linas.

El análisis se centrará sólo en los atrapaneb_linas N7 y N8/9/10 que fueron instalados para probar la hipótesis de trabajo N°5.

El N7 es un atrapaneb_lina de $4m^2$ continuo y para el mes de Septiembre tuvo un rendimiento de 66 lt/ m^2 .

El N8/9/10 es un atrapaneb_lina con 3 segmentos, el N8 de $2m^2$ (segmento superior entre 3 y 5m del suelo); el N9 de $1m^2$ segmento intermedio entre 2 y 3 del suelo y el N10 de $1m^2$ (segmento inferior entre 1 y 2 del suelo).

En total el N8/9/10 tuvieron una captación de 226,3 lt/ m^2 para el mes de Septiembre, es decir un rendimiento de un 242,9% superior al N7.

El segmento inferior presenta el menor rendimiento (51 lt/ m^2 /mes), por lo que se deduce que el efecto de la temperatura del suelo influye en la captación.

Se realizó la medición de temperatura a 1m del suelo y se comparó con la temperatura medida a 2,5m y se comprobó que la temperatura a 1m es 5°C más alta que la medida a 2,5m de altura.



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

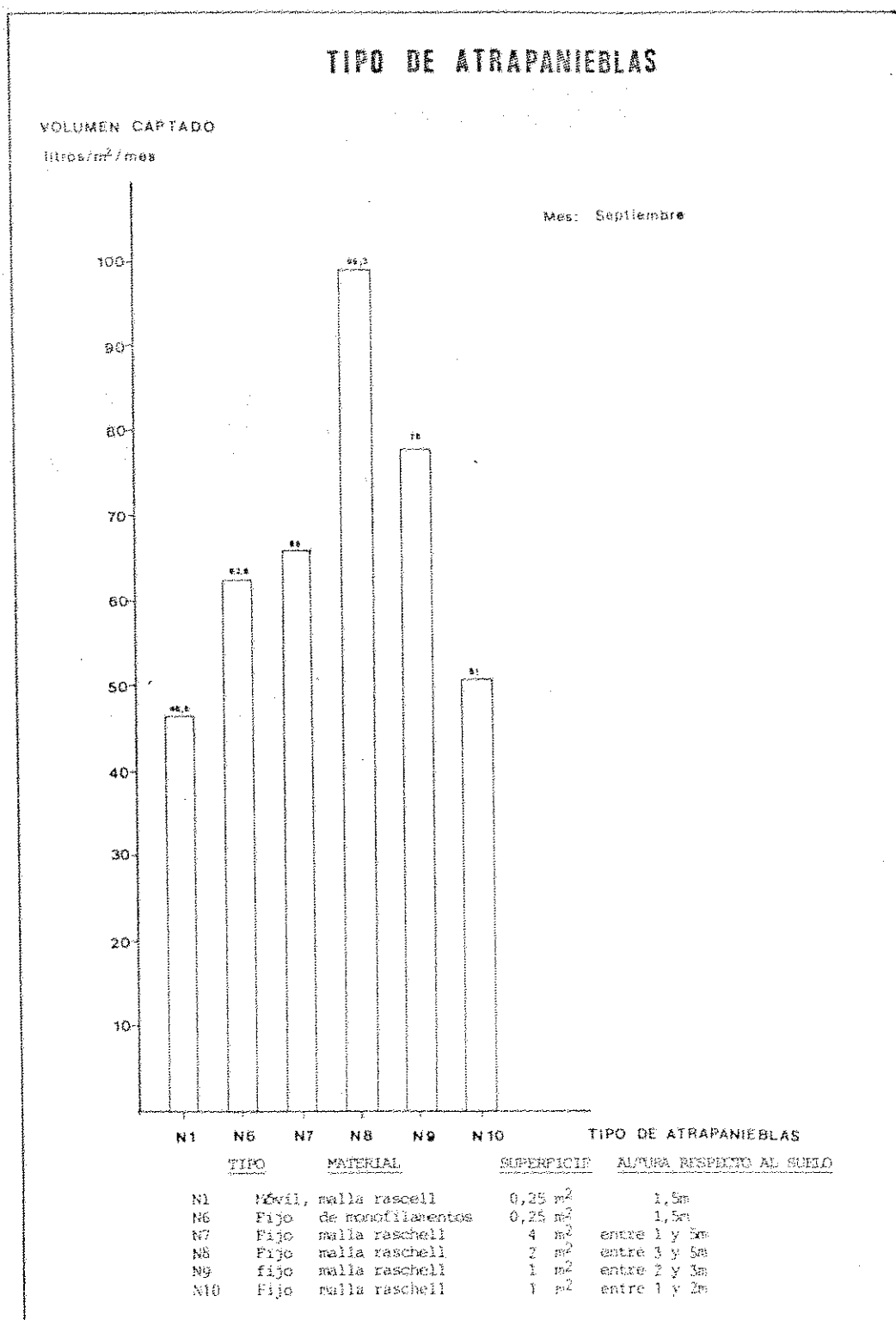


Fig.10
Tipo de atrapanieblas



Esta diferencia explica en gran medida, porque el rendimiento de los atrapanieblas, aumenta con la distancia al suelo.

Aún así, el rendimiento promedio del N8/9/10 es superior al rendimiento del N7. La razón posible para esta diferencia es que en el atrapaniebla continuo se produce una cortina de agua en la parte inferior, que impide la captación de agua a ese nivel (equivale a aumentar la densidad de la malla).

Comparación entre el atrapaniebla móvil y fijo

Se instalaron en El Tofo dos atrapanieblas de filamentos nylon, uno móvil con veleta y otro fijo orientado mirando hacia la dirección E/W.

Los rendimientos obtenidos fueron los siguientes.

<u>MES</u>	<u>MOVIL</u> <u>LT/M²/DIA</u>	<u>FIJO</u> <u>LT/M²/DIA</u>
Febrero	3,5	2,5
Marzo	4,3	3,5
Abril	1,9	1,6
Mayo	1,6	1,1
Junio	2,0	1,4
Julio	1,5	1,1
Promedio	2,5	1,9

Como conclusión tenemos entonces que el atrapaniebla móvil, capta un 31,5% más que el fijo. Este resultado parece lógico, ya que el atrapaniebla móvil está siempre oponiendo la máxima superficie de captación.

Estos datos serán complementados con los valores medidos en Totoralillo, los cuales no alcanzaron a ser procesados para este informe.

Las conclusiones finales se darán una vez obtenidos y analizados los datos de 1 año completo de medición.

El sistema de colección de datos vía satélite entrega 1440 datos mensuales cantidad suficiente para realizar un análisis confiable y eliminar con seguridad las situaciones puntuales.



UNIVERSIDAD DE CHILE
CENTRO DE ESTUDIOS ESPACIALES
DIVISION NASA

V Actividades por realizar

Las siguientes actividades están pendientes y serán realizadas como una continuación de este proyecto de investigación:

1. Cuantificación y análisis del fenómeno durante 1 o más años
2. Medir y evaluar el crecimiento de las especies vegetales plantadas
3. Instalar un sistema de riego automático, diseñado especialmente por el Centro de Estudios Espaciales.
4. Ampliar nuevamente la superficie de la parcela experimental.
5. Instalar un sensor de densidad de la neblina.
6. Reorientar los atrapaneblinas de acuerdo a los resultados obtenidos
7. Construir un atrapaneblina de 100m², con el fin de regar una plantación de Olivos existentes y una de hortalizas.