

APLICACION DEL METODO DE LA SACAROSA A LA
CARACTERIZACION MICROCLIMATICA DEL
PARQUE NACIONAL "FRAY JORGE", CHILE

ERNST R. HAJEK * y FRANCISCO SAIZ **

ABSTRACT: The method for determining accumulated temperatures by means of polarimetric measurements of the inversion of an acidified sugar solution has been applied characterizing the microclimate of three areas in the National Park "Fray Jorge", Chile. A cloud forest and two areas of climax vegetation were used in the study, carried out during an annual cycle. Soil water and max-min temperatures were also measured.

From a thermal point of view the areas of climax vegetation show larger vegetative potentiality, but due to the absence or minimum amounts of rainfall, the cloud forest appears as biologically more favorable. It is concluded also that the sugar inversion method for measuring temperatures is suitable for ecological purposes and for characterizing microenvironments.

INTRODUCCION

El bosque relicto de Fray Jorge ubicado en una región árida (di Castri y Hajek 1976) ha sido el centro de atención de numerosos científicos durante mucho tiempo. En el campo vegetacional se destacan los estudios de Philippi (1930), Muñoz y Pisano (1947), Skottsberg (1950), Schmithüsen (1956), Kummerow (1960), Oberdorfer (1960), Hoffmann (1961), Croizat (1962). En el campo faunístico las informaciones eran escasas hasta 1966 (Sáiz 1963a, 1963b, Covarrubias et al. 1964), lo que nos movió a desarrollar un estudio de ciclo anual, del que los resultados mesofaunísticos han sido publicados por Sáiz (1969, 1971, 1974, 1975), Silva y Sáiz (1975), Sáiz y Avendaño (1976) y Sáiz y Calderón (1976). En lo que se refiere a macrofauna solamente está a nuestro alcance un informe preliminar de Fulk y Schamberger (1973).

Los estudios a nivel de los organismos, ya sea vegetales o animales, adquieren una mayor significación, cuando pueden explicarse sus variaciones estacionales o topográficas en función de variables del ambiente físico. Sobre la base de estas apreciaciones consideramos útil estudiar algunos parámetros físicos, como contenido de agua del suelo, acumulación de calor y extremos térmicos.

Los primeros antecedentes climáticos se encuentran en Muñoz y Pisano (1947), citando a Almeyda (1944). Los trabajos de Kummerow (1962, 1966) significan una contribución fundamental al conocimiento

* Laboratorio de Ecología, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad Católica de Chile, Casilla 114-D, Santiago.

** Laboratorio de Ecología, Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Católica de Valparaíso, Casilla 4059, Valparaíso.

abiótico, pues, aportan información específica sobre las condiciones climáticas del bosque y su entorno, a las que Muñoz y Pisano se referían en forma general. Kummerow realizó mediciones de radiación global (solar total), neblina, precipitaciones y humectación. Según sus resultados, la precipitación de neblina es especialmente intensa en los meses de Primavera y Verano cuando la vegetación alcanza su crecimiento máximo.

La precipitación total comprobada en Fray Jorge es similar a la de regiones más meridionales en cuanto a su cantidad anual, como, por ejemplo, la zona de Concepción (Hajek y di Castri 1975). Si bien los trabajos de Kummerow son esenciales para explicar las condiciones macroclimáticas del bosque, ellos son insuficientes desde un punto de vista microambiental para el apoyo de trabajos faunísticos.

Las dificultades de concurrencia frecuente al sector de estudio y la necesidad de usar una instrumentación de registro continuo, poco sofisticada y biológicamente útil, nos ha llevado a la búsqueda de métodos confiables de mediciones que reúnan todas estas condiciones, especialmente en el campo de la acumulación de temperaturas (Pallmann et al. 1940a, 1940b, Pallmann y Frei 1943, Kundler 1954, Schmitz 1959, 1964, Berthet 1960, Lütze 1963, Niemann 1963, Schmitz y Volkert 1964, Becker 1975).

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- a. Caracterizar condiciones microclimáticas en tres sectores del Parque Nacional "Fray Jorge".
- b. Aplicar la metodología de la inversión de la sacarosa para la medición de temperaturas efectivas.

MATERIAL Y METODOS

A. *Caracterización de los ambientes*: Se trabajó en tres ambientes: Bosque higrófilo, Matorral xerófilo, y Matorral espinoso, cuyos detalles descriptivos pueden encontrarse en Sáiz (1971 y 1972).

B. *Contenido de agua del suelo*: Las muestras para determinar el agua del suelo se tomaron en cuatro estratos correspondientes a 0 - 2, 2 - 5, 5 - 10, 10 - 20 cm de profundidad, con réplica. Los muestreos se hicieron en períodos aproximados a los 45 días a partir del 3 de Agosto de 1967 hasta el 26 de Septiembre de 1968. Sus valores (peso %) se determinaron mediante el método gravimétrico, secándose las muestras a 105°C durante 48 horas.

C. *Temperaturas*:

1. *Temperaturas extremas*. Se utilizaron termómetros de máxima y mínima, tipo Six, que se ubicaron en la vegetación orientados hacia el sur y sombreados con folias de aluminio. Las lecturas se realizaron en fechas coincidentes con los muestreos para agua del suelo y deben considerarse como valores del período inmediatamente anterior.

2. *Temperaturas del suelo (Temperaturas efectivas)*. El método elegido fue el de la inversión de la sacarosa que se basa en el hecho de que la inversión de una solución acidificada de sacarosa es dependiente de la

temperatura, siendo su efecto casi nulo a temperaturas inferiores a 0°C, y de expresión exponencial a medida que aumenta. Es precisamente este efecto, similar a los procesos biológicos, lo que hace interesante a este método. La velocidad de reacción puede ser controlada mediante mediciones polarimétricas del cambio del ángulo de rotación desde dextrógira a levógira a lo largo de un cierto período de tiempo. El método fue originalmente descrito por Pallmann et al. (1940a). Los valores obtenidos de este modo se denominan temperaturas efectivas (eT). No debe confundirse este término con otro similar de significado distinto utilizado en Bioclimatología humana.

Detalle de la metodología.

1. Preparación de las soluciones. Para la preparación de la solución sacarosa-tampón se utilizan tres elementos.

- a. Solución citrato.
- b. Solución ácido clorhídrico n/5.
- c. Solución sacarosa.

La preparación de las soluciones se hizo de acuerdo a Pallmann (1940):

a. *Solución citrato* (primera componente tampón): 42,016 g de ácido cítrico (según Soerensen) se disuelven en 200 cc de NaOH 2 N y se completan con agua destilada hasta 1000 cc.

b. *Solución de ácido clorhídrico* (segunda componente tampón): Ácido clorhídrico químicamente puro se disuelve a una solución n/5. El verdadero tampón citrato -HCl se obtiene por mezcla de las dos componentes. Se agrega a 404 cc de la solución de citrato, 596 cc de solución de ácido clorhídrico N/5. La mezcla hace un total de 1000 cc.

c. *Solución de sacarosa*: 1500 g de sacarosa purísima se disuelven en 1000 cc de agua. Debido al volumen propio, el volumen de la solución sube a aproximadamente 1900 cc. El jarabe obtenido se filtra a través de papel filtro corriente. La filtración de la solución viscosa demora algunas horas.

2. Preparación de la mezcla de inversión. Solución tampón de pH 2.92.

Se mezcla en partes iguales la solución tampón-citrato y la solución de sacarosa. Recién así se obtiene la solución capaz de invertirse, por cuanto las dos soluciones componentes aisladamente no presentan reacción.

Para la elaboración de los sensores pueden utilizarse envases de vidrio de diversa capacidad. En esta experiencia utilizamos las ampollas de 12.5 cc de la industria farmacéutica. Estos se llenan en una cantidad que exceda algo la capacidad de un tubo de polarímetro (en este trabajo, tubos de 100 mm de largo). Ello permite un lavado previo del tubo siguiente con algo de la solución a medirse. Antes de llenar las ampollas se procede a desinfectar la solución, pues la presencia de microorganismos puede alterar las medidas polarimétricas. Agregamos una pequeña cantidad de formol al 40% tal como lo propicia Berthet (1960). Es necesario cuidar de que el pH sea el adecuado y no olvidar la determinación de alfa 0, o sea el

ángulo inicial de rotación. El sellado de las ampollas se hizo a la llama. Esto se debe realizar con precauciones para evitar la caramelización de la solución. Las ampollas cerradas deben guardarse inmediatamente refrigeradas, recomendándose una temperatura de 0°C o algo menor. Para confirmar la validez del ángulo alfa 0 medido debe realizarse una nueva medición de la solución de las ampollas selladas.

3. Transporte y ubicación. Para el transporte hacia y desde el terreno utilizamos un termo con una mezcla de agua y hielo a 0°C. Para la ubicación en el terreno debe procurarse que las ampollas no queden expuestas directamente a la radiación solar.

4. Medición polarimétrica. Para nuestras experiencias utilizamos un polarímetro Zeiss con sensibilidad de 0.05° y tubos de 100 mm de largo.

Para la determinación del ángulo de rotación final (β_0) puede someterse la muestra a calor elevado o usarse una extrapolación basada en regresiones a partir de una temperatura constante en una cámara climática (Berthet 1960). Nosotros determinamos β_0 por calentamiento. Debe cuidarse la cantidad de calor por las razones anotadas anteriormente.

5. Obtención de la temperatura efectiva (eT). Para los cálculos de la temperatura efectiva se utilizan los siguientes elementos:

KT = constante de inversión para la temperatura T.

H = concentración de iones H de la solución.

t = tiempo de exposición (en días).

Alfa 0 = ángulo de rotación óptica de la sacarosa en el tiempo t = 0 (positivo).

Beta 0 = ángulo de rotación óptica de la sacarosa en el tiempo t = (infinito).

Beta-t = ángulo de rotación óptica de la sacarosa parcialmente invertida en el tiempo t.

B = -1.2200 constante.

m = 0.0720 constante (para pH 2.92).

Fórmulas:

$$KT = \frac{1}{H \cdot t} \times \log \frac{\text{Alfa } 0 - \text{Beta } 0}{\text{Alfa } t - \text{Beta } 0}$$

del log KT se calcula

$$eT = (\log KT - B) : m$$

Para la presente investigación colocamos ampollas de sacarosa en superficie, 2,5 y 10 cm de profundidad, comprendiendo el estrato de máxima concentración de la mesofauna. Las ampollas colocadas en superficie fueron recubiertas por hojarasca del mismo lugar. En cada estación y profundidad se colocaron tantas ampollas como recolecciones. Es por eso que en los cálculos utilizamos el Alfa t de un período como Alfa 0 del siguiente. De no hacerse así obtendríamos valores integrales de períodos crecientes.

RESULTADOS Y DISCUSION

A. *Contenido de agua del suelo.*

Del análisis de la Fig. 1 destaca que el bosque posee mayor contenido de agua en el suelo, una mayor concentración en superficie y una estratificación bien individualizada. El conjunto se considera como consecuencia de la neblina. En los tres ambientes considerados es visible la estacionalidad del contenido de agua en el suelo. En efecto, en el bosque se separa claramente el período influenciado fundamentalmente por la neblina, del período en que este efecto es menor. El impacto de la lluvia no se nota claramente en el bosque, en cambio sí en los matorrales. Contrariamente, el efecto de la neblina es muy leve en los Matorrales siendo visible sólo en forma parcial en el Matorral xerófilo.

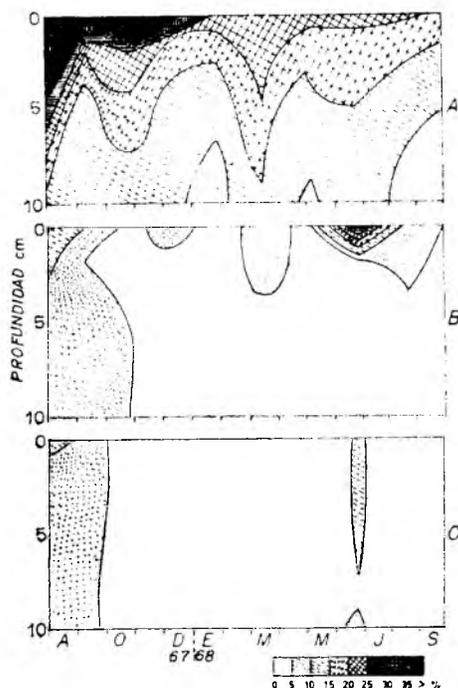


Fig. 1. Isoplethas del contenido de agua (peso %) en A = Bosque higrófilo, B = Matorral xerófilo, C = Matorral espinoso. Los valores a 10 cm de profundidad corresponden a la capa entre 10 y 20 cm.

Otro aspecto a destacar es la constancia de la cantidad de agua en el suelo en profundidad en los tres ambientes, dándose en el bosque a un valor tres veces superior al de los Matorrales. Las mayores concentraciones de agua detectadas en el Matorral xerófilo en Diciembre y en Marzo corresponden a máximas hídricas del bosque debidas a los efectos de las neblinas. Esto verifica las observaciones de Kummerow en el sentido

de una mayor cantidad de precipitación de neblina en los meses de Primavera y Verano (Kummerow 1966); en cambio la mayor concentración de junio corresponde a lluvias ocurridas los días 16 y 17, con los siguientes valores para La Serena y Ovalle, respectivamente: 32.7 y 29.6 mm.

En el Matorral espinoso no se detecta influencia de la neblina, pero sí es visible el efecto de las lluvias. En efecto, los días 15 y 18 de Julio de 1967, hubo precipitaciones de 12 mm para La Serena y de 28.7 para Ovalle y los días 16 y 17 de Junio de 1968, los valores expuestos antes. La penetración de tipo puntual, (Junio de 1968), detectada en este ambiente, se debería a las características arenosas del suelo y la consecuente penetración del agua.

B. *Temperaturas*. Dividiremos el análisis en:

1. Temperaturas extremas.
2. Temperaturas integradas (temperaturas efectivas).

1. Temperaturas extremas.

En la Fig. 2 se señalan para los tres ambientes estudiados las temperaturas máximas y mínimas correspondientes a los períodos entre dos visitas. En general el Bosque muestra las menores oscilaciones térmicas.

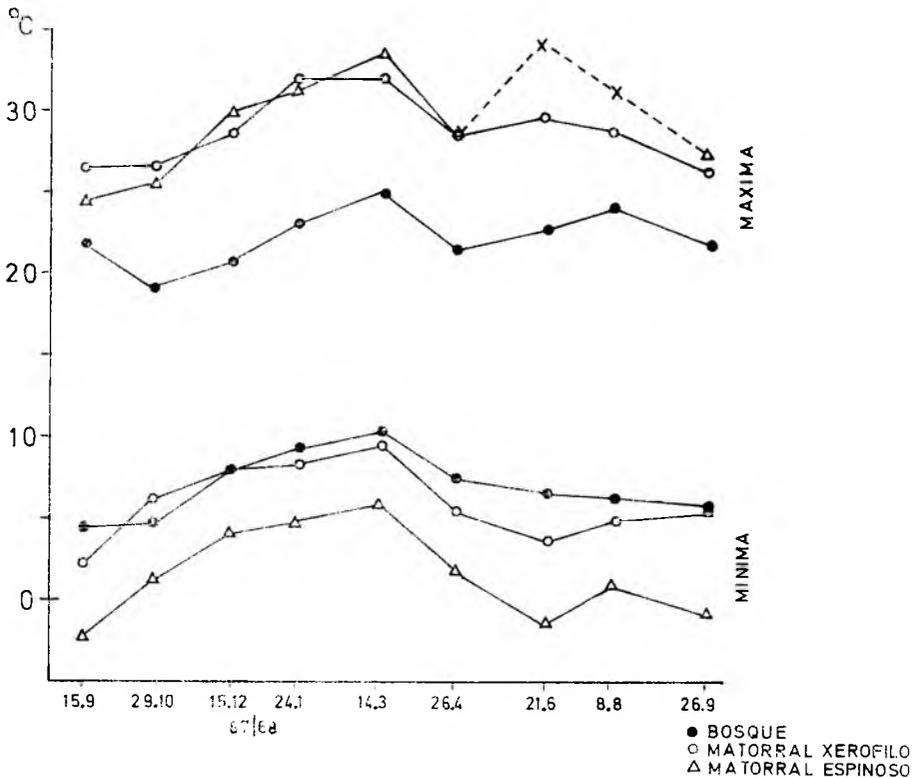


Fig. 2. Temperaturas máximas y mínimas en Bosque, Matorral xerófilo y Matorral espinoso. X = datos dudosos.

el Matorral espinoso las mayores. En cuanto a las temperaturas máximas aquellas de los dos Matorrales marchan relativamente parejas y parecidas a lo largo del año, diferenciándose notoriamente de las del bosque. En cambio en las mínimas se nota una clara diferencia entre el Matorral espinoso y el Matorral xerófilo. De allí que el Matorral espinoso muestre las máximas oscilaciones térmicas, lo cual si además va asociado a un menor aporte hídrico al suelo, hace realmente extremas las condiciones limitantes en este ambiente.

2. Temperatura efectiva.

Con la información entregada por las ampollas de sacarosa (temperatura efectiva) (Fig. 3), se pueden hacer las siguientes observaciones. Existe una gran variabilidad térmica en el Matorral espinoso, variabilidad que se atenúa a medida que se va considerando ambientes más cercanos al Bosque. En éste existe una mayor uniformidad térmica, tanto temporal como espacial dentro del suelo, que se mantiene a un nivel térmico más bajo que aquel existente en los Matorrales.

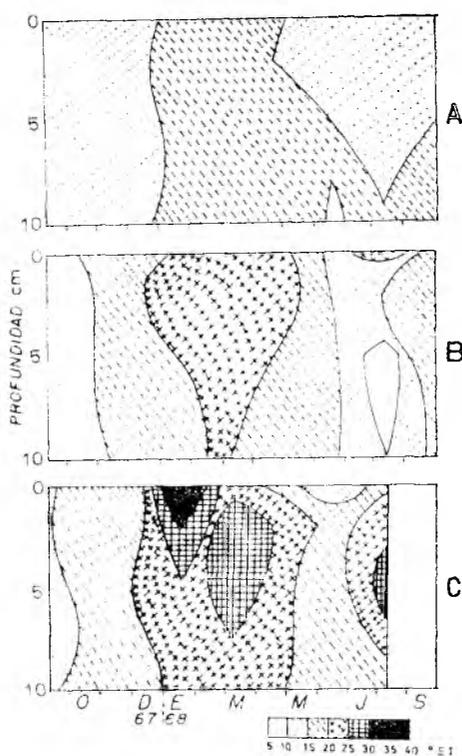


Fig. 3. Isopletas de temperaturas efectivas (ET) en A = Bosque higrófilo, B = Matorral xerófilo, C = Matorral espinoso. Los valores a 10 cm de profundidad corresponden a la capa entre 10 y 20 cm.

Por otra parte, destaca claramente la estacionalidad térmica en el Matorral espinoso, estacionalidad que disminuye hacia el Matorral xerófilo y que es casi nula en el Bosque.

Debe recordarse que este sistema de medición de temperaturas efectivas tiene una clara significación biológica, pues entre la velocidad de reacción y la temperatura existe una función exponencial; aplica entonces la regla de van't Hoff. Así, los valores de temperatura efectiva que se han obtenido deben entenderse con ese enfoque y dado que altas y bajas temperaturas entran con distinto peso en la reacción, no pueden compararse las cifras eT con aquellos valores que incluyen temperaturas no captadas por este método y expresadas en las escalas convencionales. Sólo podría lograrse temperaturas medias comparables expresadas en °C, por ejemplo, si en el ambiente estudiado las oscilaciones de temperaturas fuesen mínimas, o estuviesen ausentes, y la totalidad de los componentes tuviera valores dentro del rango de los captados por el método.

CONCLUSIONES

Puede concluirse, en consecuencia, que desde el punto de vista térmico o de una potencialidad vegetativa, los Matorrales aparecen como biológicamente más aptos que el Bosque. Sin embargo, esta característica está fuertemente frenada por la ausencia o cantidades mínimas de agua (precipitaciones fundamentalmente) en los Matorrales. La resultante significa una mayor condición biológica en el Bosque.

Desde el punto de vista del método de la sacarosa se concluye su utilidad y efectividad como metodología apropiada para la medición de temperaturas biológicamente efectivas y como complemento apto para la caracterización microclimática de ambientes.

AGRADECIMIENTOS: Los autores expresan sus agradecimientos a los señores Raúl Olea y Alfredo Rojo, por su apoyo logístico para la realización de esta investigación, al Dr. Rubén Cisternas por su apoyo en el procesamiento de la información y a la Universidad Católica de Chile por su generosa contribución para la publicación del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEYDA E. 1944. Clima de las costas bañadas por corrientes marinas frías. Imp. Univ. Santiago.
- BECKER N. J. 1975. Praktische Erfahrungen mit der reaktions-kinetischen Temperaturmessung nach Pallmann Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B. 23: 415-430.
- BERTHET P. 1960. La mesure écologique de la température par détermination de la vitesse d'inversion du saccharose. Vegetatio 9: 197-207.

- CASTRI F. DI y E. R. HAJEK. 1976. Bioclimatología de Chile. Impr. Edit. Univ. Católica, Santiago.
- COVARRUBIAS R., I. RUBIO y F. DI CASTRI. 1964. Observaciones ecológico-cuantitativas sobre fauna edáfica en zonas semiáridas del Norte de Chile. Bol. Prod. Anim. Ser. A. 2: 1-110.
- CROIZAT L. 1962. On the age of the floras of Fray Jorge and Talinay in Chile. Rev. Universitaria. Un. Cat. de Chile Año 47: 57-61.
- FULK G. y M. SCHAMBERGER. 1973. Informe preliminar "Mamíferos del Parque Nacional Fray Jorge". SAG-Conaf, Santiago.
- HAJEK E. R. y F. DI CASTRI. 1975. Bioclimatografía de Chile Dir. Invest. Vicerrectoría Académica, Univ. Católica, Santiago.
- HOFFMANN A. 1961. Nuevas interrogantes sobre el bosque "Fray Jorge". Bol. Univ. Chile: 21: 1-5.
- KUMMEROW J. 1960. La extraña vegetación del Parque Nacional "Fray Jorge" y su importancia en la investigación biológica. Bol. Univ. Chile. 11: 37-38.
- KUMMEROW J. 1962. Mediciones cuantitativas de la neblina en el Parque Nacional "Fray Jorge". Bol. Univ. de Chile. 28: 36-37.
- KUMMEROW J. 1966. Aporte al conocimiento de las condiciones climáticas del bosque "Fray Jorge". Bol. Técn. Univ. Chile Fac. Agron. 24: 21-24.
- KUNDLER P. 1954. Zur Anwendung der Invertzuckermethode für standortkundliche Temperaturmessungen. Z. Pflanzenernaehr., Düng. Bodenk. 66: 239-246.
- LÜTZKE R. 1963. Über die Problematik von Temperaturmessungen mit der e-T Methode bei lokalklimatologischen und standortkundlichen Untersuchungen. Arch. für Forstwesen 12: 1053-1065.
- MUÑOZ C. y E. PISANO. 1947. Estudio de la vegetación y flora de los parques nacionales de Fray Jorge y Talinay. Agric. Técnica 7: 71-187.
- NIEMANN E. 1963. Beispiel zur Anwendung des Pallmannschen Verfahrens der Temperaturmessung am Pflanzenstandort auf synoekologische und vegetations geographische Fragen. Angew. Meteorol. 4: 198-211.
- OBERDORFER E. 1960. Pflanzensoziologische Studien in Chile. Verl. J. Cramer. Weinheim.
- PALLMANN H., E. EICHENBERGER y A. HASLER. 1940a. Eine neue Methode der Temperaturmessung bei oekologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 50: 337-362.
- PALLMANN H., E. EICHENBERGER y A. HASLER. 1940b. Prinzip einer neuen Temperaturmessung für oekologische und bodenkundliche Untersuchungen. Bodenkundl. Forschung 7: 53-71.
- PALLMANN H. y E. FREI. 1943. Beitrag zur Kenntnis der Lokalklimate einiger kennzeichnender Waldgesellschaften des schweizerischen Nationalparks. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des schweizerischen Nationalparks 1: 433-464.

- PHILIPPI F. 1930. Una visita al bosque más boreal de Chile. Trad. de The J. of Botany, London, 1884. **22**: 202-211. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. **13**: 96-109.
- SAIZ F. 1963a. Estudios sinecológicos sobre artrópodos terrestres en el Bosque de Fray Jorge. Inv. Zool. Chilenas **9**: 151-162.
- SAIZ F. 1963b. Observaciones sinecológicas sobre artrópodos terrestres en el bosque relicto de Zapallar. Inv. Zool. Chilenas **10**: 9-25.
- SAIZ F. 1969. Clave para la determinación de los estafilínidos (Coleoptera) del Parque Nacional "Fray Jorge". Not. Mensual Mus. Nac. Hist. Nat. Chile **160**: 3-6.
- SAIZ F. 1971. Notas ecológicas sobre los estafilínidos del Parque Nacional "Fray Jorge", Chile. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. **32**: 67-97.
- SAIZ, F. 1972. El bosque del Parque Nacional "Fray Jorge" debe ser un Santuario de la Naturaleza. Antecedentes para su justificación. Not. Mens. Mus. Nac. Hist. Nat., Chile, **14** (192):812.
- SAIZ F. 1974. Coleópteros epigeos del Parque Nacional "Fray Jorge". Aspectos ecológicos y biogeográficos. Bol. Mus. Nac. Hist. Nat., **34**: (en prensa).
- SAIZ F. 1975. Aspectos mesofaunísticos hipogeos en el Parque Nacional "Fray Jorge". I parte. Análisis Comunitario. An. Mus. Hist. Nat. Valparaíso: **8**: 29-50.
- SAIZ F. y R. CALDERON. 1976. Investigaciones ecológicas sobre las arañas del Parque Nacional Fray Jorge. An. Mus. Hist. Nat. Valparaíso. **9**:
- SAIZ F. y V. AVENDAÑO. 1976. Análisis comunitario e instrumentos para su interpretación en artrópodos del Parque Nacional Fray Jorge. An. Mus. Hist. Nat. Valparaíso. **9**:
- SILVA F. y F. SAIZ. 1975. Investigaciones ecológicas de los diplópodos del Parque Nacional Fray Jorge. An. Mus. Hist. Nat. Valparaíso. **8**: 17-28.
- SKOTTSBERG C. 1950. Apuntes sobre la flora y vegetación de Fray Jorge (Coquimbo, Chile), Meddel. Goeteborgs Botaniska Traedgord XVIII, Goeteborg.
- SCHMITHÜSEN J. 1956. Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Bonner geogr. Abhandl. **17**: 1-86.
- SCHMITZ W. 1959. Die Messung von Mitteltemperaturen auf reaktionskinetischer Grundlage mit dem Kreispolarmeter und ihre Anwendung in Klimatologie und Bioökologie, speziell in Forst- und Gewässerkunde. Zeiss-Mitt. **1**: 300-337.
- SCHMITZ W. 1964. Messprobleme bei reaktionskinetischen Untersuchungen mit dem Kreispolarmeter, dargestellt am Beispiel der reaktionskinetischen Temperaturmessung. Zeiss Mitt. **3**: 227-249.
- SCHMITZ W. y E. VOLKERT. 1959. Die Messung von Mitteltemperaturen auf reaktionskinetischer Grundlage mit dem Kreispolarmeter und ihre Anwendung in Klimatologie und Bioökologie, speziell in Forst- und Gewässerkunde. Zeiss Mitt. **1**: 300-337.