



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO
FACULTAD DE BIOLOGÍA

**PERFIL VERTICAL DE TEMPERATURA DEL AIRE Y HUMEDAD RELATIVA
DENTRO DE UN BOSQUE DE PINO-ENCINO EN EL SUR DE LA CUENCA DE
CUITZEO**

TESIS

Que presenta:

DANIEL RUIZ LEYVA

Como requisito para obtener el título
Profesional de

BIÓLOGO

Director de tesis: Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez

Morelia, Michoacán, Junio 2015



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al DR. Alberto Gómez-Tagle Chávez por su amistad y asesoría; a los compañeros Rafael Morales, Carolina Ruiz y Ana Isabel Bedolla, por su apoyo durante las horas de trabajo en campo, y al resto de los compañeros del laboratorio de Ciencias de la Tierra del INIRENA-UMSNH por sus comentarios. Finalmente, a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA). También deseo agradecer al Dr. A. Francisco Gómez-Tagle Rojas y la M.C. Yolanda Chávez por permitirme realizar este trabajo en su propiedad.

RESUMEN

El conocimiento del comportamiento hidrotérmico del dosel es importante en estudios de transpiración y fotosíntesis de bosques que utilicen modelos de dosel multicapas, en la caracterización de microhábitats dentro del bosque y para crear modelos del comportamiento hidrotérmico bajo escenarios de cambio climático y predecir su efecto en la biodiversidad. Se construyó y calibró un sistema perfilador termohidrométrico (PTHM) para describir el perfil vertical de temperatura del aire (TA) y humedad relativa (HR) de un bosque de pino-encino al sur de la cuenca de Cuitzeo, durante la temporada seca y de lluvias. Se hipotetizó la ocurrencia de un gradiente con la altura; es decir, mayor temperatura y menor humedad relativa al aumentar la altura del dosel. Se obtuvo la TA y HR máxima, mínima y media, así como, las oscilaciones térmicas e hídricas diarias en 4 puntos bajo el dosel y en un claro cercano al bosque. Los resultados no indican la ocurrencia de un gradiente de temperatura durante la temporada seca, a pesar de que las temperaturas a los 2 y 10 metros de altura fueron menores que aquellas a los 15 y 20 metros y al claro del bosque. Durante la temporada de lluvias se observó un patrón similar y la menor temperatura ocurrió a los 10m de altura dentro del perfil vertical. Similarmente, los resultados no confirman la ocurrencia de un gradiente de humedad relativa dentro del dosel. Sin embargo las humedades más altas se observaron en el claro del bosque durante ambas temporadas. Se concluyó que la estructura vertical del dosel (tipo y densidad de la biomasa) y la cercanía del claro del bosque tienen un efecto importante en los patrones de temperatura observados dentro del dosel.

Palabras clave: bosque de pino-encino, dosel arbóreo, humedad relativa, perfil vertical, temperatura del aire.

ABSTRACT

Knowledge on hydrothermal canopy behavior is important in studies of forest transpiration and photosynthesis using multilayer canopy models, in characterizing microhabitats within the forest and to create models of hydrothermal behavior under climate change scenarios and predict its effect on biodiversity. A thermohidrometric profiler system (THMP) was built and calibrated to describe the vertical profile of air temperature (AT) and relative humidity (RH) of a pine-oak forest, south of the Cuitzeo basin, during the dry and rainy season. A gradient with height was hypothesized, meaning higher temperatures and lower relative humidity with the increase of height. Maximum, minimum and average AT and HR were obtained. Daily thermal and water vapor fluctuations, at 4 points under the canopy and at a clearing near the forest, were also calculated. The results do not indicate the occurrence of a temperature gradient during the dry season, despite temperatures at 2 and 10 meters heights were lower than those at 15 and 20 meters heights and that of the clearing. During the dry season, a similar pattern was observed; and the lowest temperature occurred at 10 m height within the vertical profile. Also, the results do not confirm the occurrence of a relative humidity gradient within the canopy; however the higher humidity was observed at the clearing during both seasons. It was concluded that both, vertical structure of the canopy (different biomass types and densities) and the nearby forest clearing, have a significant effect on temperature patterns observed within the canopy.

Key words: air temperature, forest canopy, pine-oak forest, relative humidity, vertical profile.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	4
2.1 PERFILES MICRO METEOROLÓGICOS	4
2.2 PERFILES MICROMETEOROLÓGICOS DENTRO DE CULTIVOS	4
2.3 PERFILES MICROMETEOROLÓGICOS DENTRO DE BOSQUES	4
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	8
4. HIPÓTESIS	8
5. OBJETIVOS	8
5.1 OBJETIVO GENERAL	8
5.2 OBJETIVOS PARTICULARES	8
6. ÁREA DE ESTUDIO	9
6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	9
6.2 CLIMA	10
6.3 HIDROLOGÍA	10
6.4 GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA	10
6.5 VEGETACIÓN	10
7. METODOLOGÍA	13
7.1 SISTEMA PERFILADOR TERMOHIDROMÉTRICO	13
7.2 MEDICIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA POR EL MÉTODO DEL PSICÓMETRO	14
7.4 MONTAJE DEL PTHM EN CAMPO	17
7.5 REGISTRO DE DATOS	17
7.6 PROCESAMIENTO DE DATOS	20
8. RESULTADOS	23

8.1 CALIBRACIÓN	23
8.2 MONTAJE EN EL BOSQUE	27
8.2.1 Temperatura del aire	27
8.2.2 Oscilaciones térmicas	29
8.2.3 Humedad relativa	30
8.2.4 Oscilaciones hídricas	33
9. DISCUSIÓN	34
9.1 TEMPERATURA	34
9.2 HUMEDAD RELATIVA	35
9.3 PERFILADOR TERMOHIDROMÉTRICO	36
9.4 IMPLICACIONES.....	36
9.5 TRABAJO FUTURO.....	37
10. CONCLUSIONES	38
11. LITERATURA CITADA.....	39
12. ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio.	9
Figura 2. Vista cenital del bosque de pino-encino.....	12
Figura 3. Componentes del sistema perfilador termohidrométrico (PTHM).	14
Figura 4. Instalación para la calibración del PTHM.....	15
Figura 5. Distribución de los psicómetros del PTHM y de la estación de referencia dentro del bosque.	18
Figura 6. Montaje del PTHM en campo.....	19
Figura 7. Algunos de los pasos realizados en la depuración y el procesamiento de datos.	21
Figura 8. Diagrama de flujo que describe los pasos realizados en el procesamiento y análisis de datos.	22
Figura 9. Calibración del perfilador termohidrométrico para la temperatura del aire.	25
Figura 10. Calibración del perfilador termohidrométrico para la humedad relativa.	26
Figura 11. Temperatura del aire dentro del dosel y en el claro del bosque.	27
Figura 12. Oscilación de la temperatura del aire dentro del dosel y en el claro del bosque.	29
Figura 13. Humedad relativa dentro del dosel y en el claro del bosque.	31
Figura 14. Oscilación de la humedad relativa dentro del dosel y en el claro del bosque.	33
Figura 15. Medias horarias de la temperatura del aire y humedad relativa dentro del dosel del bosque y en el claro del bosque, durante la temporada seca y lluviosa.	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de Tmax - Tmin para bosques resumidos de reportes publicados.	7
Tabla 2. Características estructurales generales del arbolado en la estación de investigación ecohidrológica Alto Fresno.	11
Tabla 3. Descripción de las mediciones de temperatura del aire y humedad relativa del PTHM y la ER del INIRENA.	24
Tabla 4. Ecuaciones de corrección para la temperatura del aire y humedad relativa para cada psicómetro del PTHM.	24
Tabla 5. Estadísticos descriptivos para la temperatura del aire dentro del dosel del bosque y para el claro del bosque.	28
Tabla 6. Estadísticos descriptivos para la humedad relativa dentro del dosel del bosque y para el claro del bosque.	32

1. INTRODUCCIÓN

La información recolectada por los perfiles verticales es de gran interés en las ciencias ambientales para cuantificar los intercambios escalares (fotosíntesis y evapotranspiración) entre la vegetación, el suelo y la atmósfera en una escala más detallada, utilizando modelos de dosel multicapas. Estos modelos calculan o asumen una distribución vertical de variables meteorológicas como la velocidad del viento, intensidad de radiación, temperatura del aire y concentraciones de vapor y CO₂ (e.g., Baldocchi y Meyers, 1998; Lai *et al.*, 2000a, b citado en Komatsu *et al.*, 2007). Adicionalmente, los perfiles verticales pueden ayudar a explicar patrones en la distribución y comportamiento de especies de epífitas, invertebrados y pequeños mamíferos asociados al dosel (e.g., Brower *et al.*, 2011; Cutz-Pool *et al.*, 2010; Proctor, 1982).

Los perfiles verticales de temperatura medidos dentro de distintos tipos de bosques (e.g., tropicales, templados y boreales) varían ampliamente; el rango de T_{max}-T_{min} abarca de 0.3 °C a 6°C (Komatsu *et al.*, 2007). Estas diferencias se deben en gran parte a la arquitectura de los árboles (Arya, 2001), a las adaptaciones fisiológicas de la vegetación y al clima del lugar. Debido a esta variación y el gran número de factores que afectan la distribución de las variables meteorológicas dentro del bosque, es importante caracterizar los perfiles verticales en el sitio para el cual se planea utilizar esa información. Por otra parte, Salazar (2010) sugiere que es necesario elaborar perfiles de variación de los parámetros micrometeorológicos con la altura en los diferentes pisos boscosos, así como, trasladarlos a diversos tipos de bosques para observar las modificaciones que ocasionan las diversas cubiertas vegetales en el comportamiento de los parámetros meteorológicos dentro del bosque.

El propósito de este trabajo es caracterizar el perfil vertical de temperatura del aire y humedad relativa en un bosque de pino-encino al sur de la cuenca de Cuitzeo. El trabajo forma parte del proyecto de investigación a largo plazo: “Ecohidrología de bosques a escala de cuenca”, llevado a cabo en la Estación eco-hidrológica “Alto Fresno”, al sur de la ciudad de Morelia, por parte del Departamento de Ciencias de la Tierra del INIRENA, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La información recabada aportará información sustancial para la cuantificación de

procesos de masa y energía involucrados en el balance hídrico entre el bosque y la atmósfera.

2. ANTECEDENTES

2.1 PERFILES MICRO METEOROLÓGICOS

La micrometeorología es una parte de la meteorología que se ocupa de las observaciones, durante periodos cortos, de los procesos que ocurren en las capas superficiales de la atmósfera con influencia de fricción con la superficie terrestre (capa límite atmosférica, aproximadamente menos de 1 km). Entre estas capas se incluyen el medio atmosférico, dentro y por encima, de los doseles de bosques y cultivos. Mediante la medición de parámetros como la temperatura del aire, la humedad relativa, la presión atmosférica, el viento, la radiación solar incidente y las precipitaciones, la meteorología intenta comprender las complejas interacciones (procesos de intercambio de momento, calor y masa) entre la vegetación y el medio ambiente (Arya, 2001). Una forma de estudiar estas interacciones es generando perfiles de la distribución de los parámetros meteorológicos en el espacio 3D dentro del dosel.

2.2 PERFILES MICROMETEOROLÓGICOS DENTRO DE CULTIVOS

De Miranda *et al.* (1994) estudiaron el comportamiento de los ciclos diarios de la temperatura del aire y humedad relativa dentro y fuera de una plantación de cacao brasileño (*Theobroma cacao*), durante una semana, en la temporada seca y húmeda. Sus resultados indican que la temperatura, humedad relativa y la lluvia están interrelacionadas y afectan la estacionalidad de las condiciones microclimáticas dentro de la plantación. La lluvia se asocia con un descenso inmediato en la temperatura en todos los niveles del dosel y un aumento de la humedad relativa una o dos horas más tarde. Además, la amplitud en la temperatura y la humedad en la parte cercana al suelo de los cultivos densos son, generalmente más bajas que en zonas abiertas debido a la sombra.

Chelle y Cellier (2009) observaron que la temperatura del aire cambia a diferentes alturas en los surcos interiores de una plantación de maíz; mientras que la distribución horizontal es homogénea a una altura determinada.

2.3 PERFILES MICROMETEOROLÓGICOS DENTRO DE BOSQUES

Los resultados obtenidos por Salazar (2010) en su estudio microclimático de un bosque natural de pino-roble en el municipio de La Reina, El Salvador, muestran que al

desaparecer la vegetación los parámetros meteorológicos más afectados en su comportamiento diario y horario son el viento, la radiación U.V., la lluvia y en menor medida, la temperatura y la humedad relativa del aire. Los autores sugieren que es necesario elaborar perfiles de los parámetros micrometeorológicos en los diferentes pisos boscosos, así como en diversos tipos de bosques.

En bosques con climas templados, la información recolectada por Roberts *et al.*, (1984) sugiere que las variaciones del microclima por encima y dentro del bosque son pequeñas. Por el contrario, en ambientes tropicales se ha observado que, durante el día, la temperatura y la humedad en la parte más alta del dosel son similares con aquellas de la atmósfera por encima de él; pero estas propiedades del aire son muy distintas en la base del dosel, separándose, principalmente durante la noche, en microclimas muy distintos (Shuttleworth *et al.*, 1985).

Brower *et al.* (2011) midieron la temperatura del aire en 8 puntos distintos, a partir del suelo hasta los 22 metros de altura, en dos transectos dentro de un bosque de oyamel (*Abies religiosa*) en México, uno en un área relativamente abierta y otro en un área más cerrada, durante el período de enero-febrero. Sus resultados muestran que las alturas intermedias, entre los 10 y 15 metros de altura, fueron las más cálidas durante la noche y las primeras horas de la mañana; durante el medio día el perfil vertical de temperatura se mantuvo uniforme. Adicionalmente la oscilación térmica fue menor durante los días nublados y en las zonas cerradas del bosque. Los autores concluyen que un bosque denso ofrece mayor protección a las mariposas monarca que ahí hibernan, modificando el microclima dentro del dosel del bosque de 3 maneras: el dosel actúa como una cobija que mantiene el calor dentro del él; funciona como un paraguas ante la lluvia y la formación de niebla; y los troncos de los árboles actúan como calentadores, manteniendo la temperatura de las mariposas cuando descasan sobre ellos.

Sypka y Starzak (2013) generaron un modelo matemático simple que explica, a partir de las características biométricas de los árboles y la localización geográfica del sitio de estudio, la forma de “S” característica que presenta la distribución vertical de la velocidad del viento dentro de una plantación de píceas de Noruega (*Picea abies*). Sus estudios ayudan a comprender como algunas prácticas silvícolas, como la poda de ramas, pueden influenciar en el proceso de ventilación natural del bosque facilitando el flujo del viento en su interior.

Komatsu *et al.* (2007) recopilaron de 38 reportes publicados las temperaturas máximas y mínimas, así como las alturas del dosel donde ocurren, para distintos tipos de bosques (bosque tropical de hoja ancha, bosque templado de hoja ancha, bosque templado de coníferas, bosque boreal de hoja ancha y bosque boreal de coníferas). El rango de $T_{max} - T_{min}$ para los distintos bosques se encontró entre 0.3 °C y 6°C; la media y la mediana fue de 2°C y 1.8°C, respectivamente. La mayoría de los datos tuvo una oscilación térmica $\leq 3.0^{\circ}\text{C}$ (tabla 1).

H (m)	projected LAI	$T_{max}-T_{min}$ (°C)	$Z_{T_{max}}/H$	$Z_{T_{min}}/H$	number of observation point	References
Tropical	broad-leaved					
47	8	5.2	1.00	0.00	6	Aoki <i>et al.</i> (1975)
41	?	1.1	0.80	0.05	5	Baynton <i>et al.</i> (1965)
30	6.0	3.2	1.00	0.07	7	Bouka Biona textit <i>et al.</i> (2001)
35	5.7 ^{*1}	2.3	0.71	0.14	4	Cabraltextit <i>et al.</i> (1996)
30 ^{*2}	3.5~4.5 ^{*2}	0.6	-	-	3	Komatsu <i>et al.</i> (unpublished data)
50	5.1	1.3	0.99	0.10	10	Kumagai <i>et al.</i> (2001)
25	?	1.8	0.85	0.02	5	Loesher <i>et al.</i> (2005)
35	?	2.6	0.87	0.04	4	Shuttleworth <i>et al.</i> (1985)
25	?	2.3	0.84	0.20	3	Szarzynski and Anhuf (2001)
40	6.5 ^{*3}	0.9	-	-	3	Tani (1996)
35	?	1.7	0.86	0.01	12	Thompson and Pinker (1975)
Temperate	broad-leaved					
12	?	2.2	0.83	0.01	6	Chroust (1968) cited in Groß (1993)
18	?	0.9	-	-	4	Droppo <i>et al.</i> (1973)
25	5~6	2.9	0.88	0.04	4	Elias <i>et al.</i> (1989)
20	3.4	2.6	0.05	1.00	4	Ni (1997)
15	5	0.8	-	-	5	Ohtani (2000)
20	7.1	2.4	1.00	0.02	6	Yabuki <i>et al.</i> (1978)
Temperate	coniferous					
5	?	6	1.00	0.00	?	Baumgartner (1956) cited in Groß (1993)
24	2.7	0.4	-	-	4	Berbigier <i>et al.</i> (1996)
21	?	1.8	1.00	0.14	5	Daigo (1977)
7.5	?	0.5	-	-	4	Denmead (1969)
20	?	0.8	-	-	7	Denmead and Bradley (1987)
8.5	1.8	1	-	-	9	Ewers and Oren (2000)
8.5	1.9	1	-	-	9	Ewers and Oren (2000)
8.5	3.3	3	0.01	0.71	9	Ewers and Oren (2000)
8.5	3.6	3	0.01	0.71	9	Ewers and Oren (2000)
17	?	1.2	0.18	0.94	6	Green <i>et al.</i> (1984)
12.5	? ^{*4}	2.5	0.84	0.01	9	Hayashi <i>et al.</i> (1989)
17	3.3 ^{*5}	5	0.84	0.07	7	Hosker <i>et al.</i> (1974)
10.5	?	2.3	1.00	0.00	?	Jarvis <i>et al.</i> (1976)
18	3.0 ^{*6}	0.3	-	-	3	Monji <i>et al.</i> (1994)
10	?	3	0.95	0.02	4	Suzuki and Fukushima (1976)
8 ^{*7}	3.7 ^{*7}	0.6	-	-	3	Yoshifuji <i>et al.</i> (unpublished data)
Boreal	broad-leaved					
21.5	2.3 ^{*8}	2.3	0.09	0.74	7	Gu <i>et al.</i> (1999)
Boreal	coniferous					
12	10	0.6	-	-	5	Amiro (1990)
30	7.6	0.6	-	-	3	Constantin <i>et al.</i> (1998)
20	2.5	1.1	0.10	1.00	10	Halldin and Lindroth (1986)
23	4.3	2.7	0.44	0.02	5	Styles <i>et al.</i> (2002)

 Tabla 1. Valores de $T_{max} - T_{min}$ para bosques resumidos de reportes publicados.

Se muestran los valores $Z_{T_{max}}/H$ y $Z_{T_{min}}/H$, donde $Z_{T_{max}}$ and $Z_{T_{min}}$ son las alturas donde se registraron T_{max} y T_{min} ; y H representa la altura del dosel. $Z_{T_{max}}/H$ y $Z_{T_{min}}/H$ se definieron únicamente para $T_{max} - T_{min} > 1.0$ °C. Definir estos valores no es significativo cuando $T_{max} - T_{min}$ son pequeños. (Tomado de Komatsu *et al.*, 2007).

3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se comporta la temperatura del aire y la humedad relativa a lo largo del perfil vertical de un bosque de pino-encino?

4. HIPÓTESIS

La estructura vertical del dosel ocasiona un gradiente vertical de la temperatura del aire y la humedad relativa, resultando mayor temperatura y menor humedad relativa en las partes más altas

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Describir el perfil vertical de temperatura del aire y humedad relativa de un bosque de pino-encino, ubicado en el sur de la Cuenca de Cuitzeo.

5.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Obtener series de tiempo horarias de la temperatura del aire y humedad relativa para cuatro alturas dentro del dosel del bosque: 2, 10, 15 y 20 metros sobre el suelo y para el claro del bosque, durante la temporada seca y lluviosa.

Analizar si existen diferencias significativas en las oscilaciones térmicas e hídricas diarias entre las diferentes alturas muestreadas y el claro del bosque.

6. ÁREA DE ESTUDIO

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El sitio de estudio es un bosque de pino-encino; forma parte de la Estación eco-hidrológica “Alto Fresno” (19° 33' 00" N, 101° 14' 24" O). La estación se encuentra a una altitud de 2,160 msnm en el sur de la cuenca del Lago de Cuitzeo y aproximadamente a 18 km al SSO de la ciudad de Morelia, Michoacán. Abarca diversas propiedades privadas con una superficie aproximada de 40 ha y tres cuencas de primer orden (figura 1).

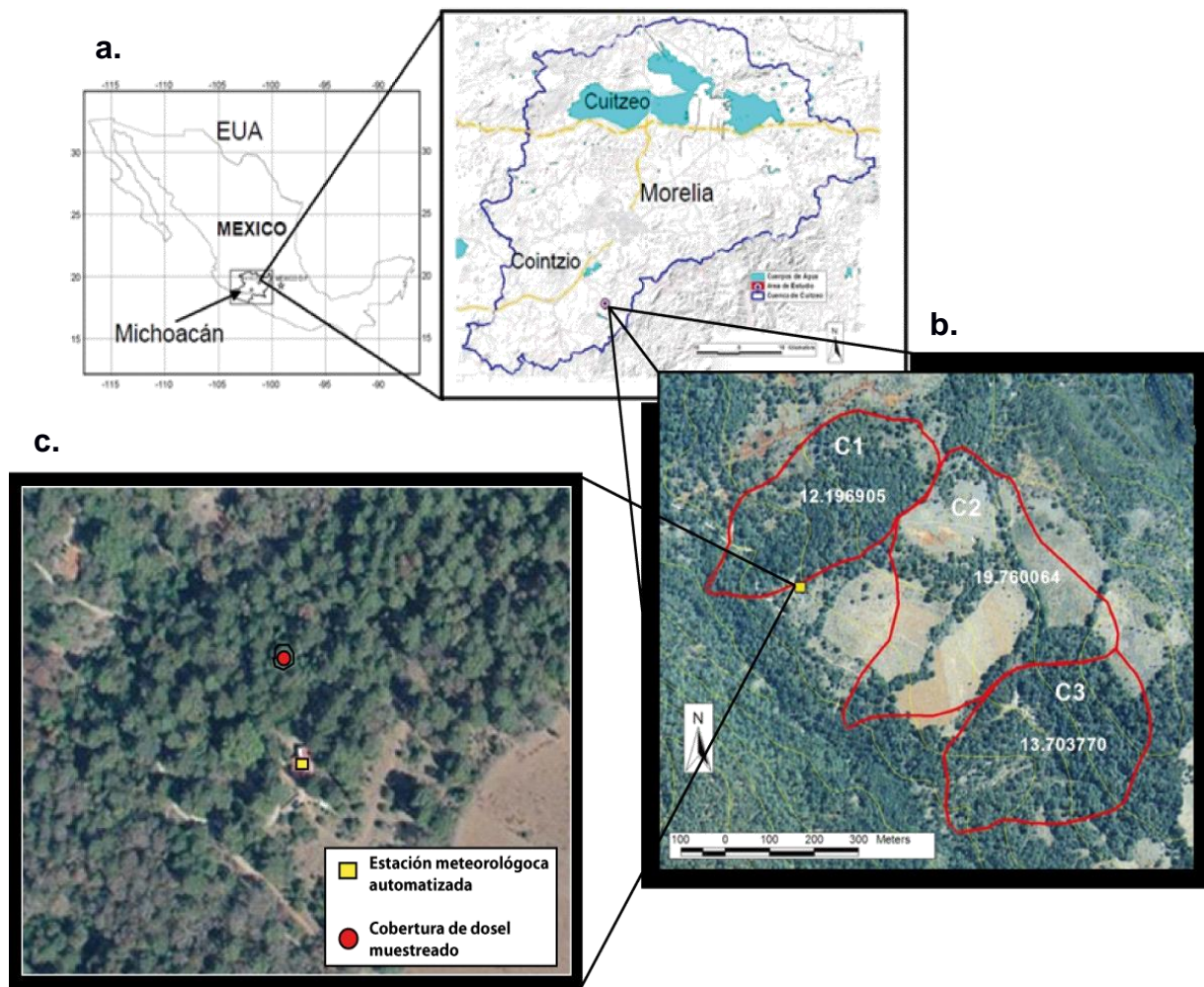


Figura 1. Área de estudio.

a. Cuenca de Cuitzeo. **b.** Estación eco-hidrológica “Alto Fresno” con 3 cuencas de primer orden (rojo). **c.** Bosque de pino-encino donde se realizó el estudio.

6.2 CLIMA

El clima es de tipo Cb (w1) (w) (i'); se caracteriza por ser templado subhúmedo con la mayor concentración de precipitación (> 95%) en verano (junio-octubre) y < 5% de precipitación invernal (diciembre-febrero). El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) reporta para las estaciones más cercanas a la zona de estudio, 16001 Acuitzio del Canje (19° 29' 56" N, 101° 20' 41" O; 2,200 msnm) a 12.2 km (SO) y 16114 San Miguel del Monte (19° 37' 13" N, 101° 08' 03" O; 2,180 msnm) a 13.5 km (NE), temperaturas promedio anuales de 16.9°C y 17.5°C; y precipitaciones promedio anuales de 1,115.8 mm y 953.9 mm, respectivamente para el período 1951-2010 (SMN 2011 ab) (Gómez-Tagle *et al.*, en revisión).

6.3 HIDROLOGÍA

El sitio experimental, Estación eco-hidrológica "Alto Fresno", se ubica en el sur de la cuenca del Lago de Cuitzeo. Hidrológicamente esta cuenca se localiza en la Región número 12 conocida como el sistema Lerma-Chapala-Santiago (Medina y Cabrera, 2011). El sitio experimental cuenta con un curso de agua de primer orden para cada una de las tres microcuencas que abarca.

6.4 GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA

La geología es ígnea extrusiva básica (INEGI, 1978) con presencia de ignimbrita, de la cantera de Morelia. La geoforma corresponde a un lomerío suavizado por ceniza volcánica.

Los suelos en el área son de origen volcánico y poligenéticos. El epipedón corresponde a un Cambisol cámbico con algunas propiedades ándicas sin que sean demasiado conspicuas. El endopedón corresponde a un Lixisol húmico sepultado (Gómez-Tagle, 2008).

6.5 VEGETACIÓN

La comunidad vegetal es un bosque secundario de pino-encino de aproximadamente 45 años. Las principales especies del estrato arbóreo son: *Pinus devoniana*, *P. douglasiana* y *P. leoiphylla*, además de encinos como *Quercus castanea* y *Q. obtusata*. La densidad promedio de árboles fue de 677.8 ind ha⁻¹, con dominancia del género *Pinus* en el estrato

arbóreo (66.7 %), seguido por *Quercus* spp. (17.7 %); mientras que el 15.6 % restante comprendió tres especies: tejocote (*Crataegus mexicana*), capulín o cereza negra (*Prunus serotina* var. *capuli* Cav.) y fresno (*Fraxinus udehi*). En la figura 2 se aprecian, en vista cenital desde el dosel de un pino, los estratos arbóreos y la densidad del bosque de pino-encino en la estación eco-hidrológica “Alto-Fresno”. La síntesis de los descriptores dasométricos se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Características estructurales generales del arbolado en la estación de investigación ecohidrológica Alto Fresno.

Descriptor	Media \pm SD
Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	39.68 ± 1.43
Índice de Área Foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$)	3.13 ± 0.13
Altura (m)	12.3 ± 7.2
Diámetro Normal (m)	0.213 ± 0.174
Edad	17.93 ± 3.1
Superficie de copa (m^2)	46.1 ± 93.3
Total de árboles (n)	46

SD: Desviación estándar.

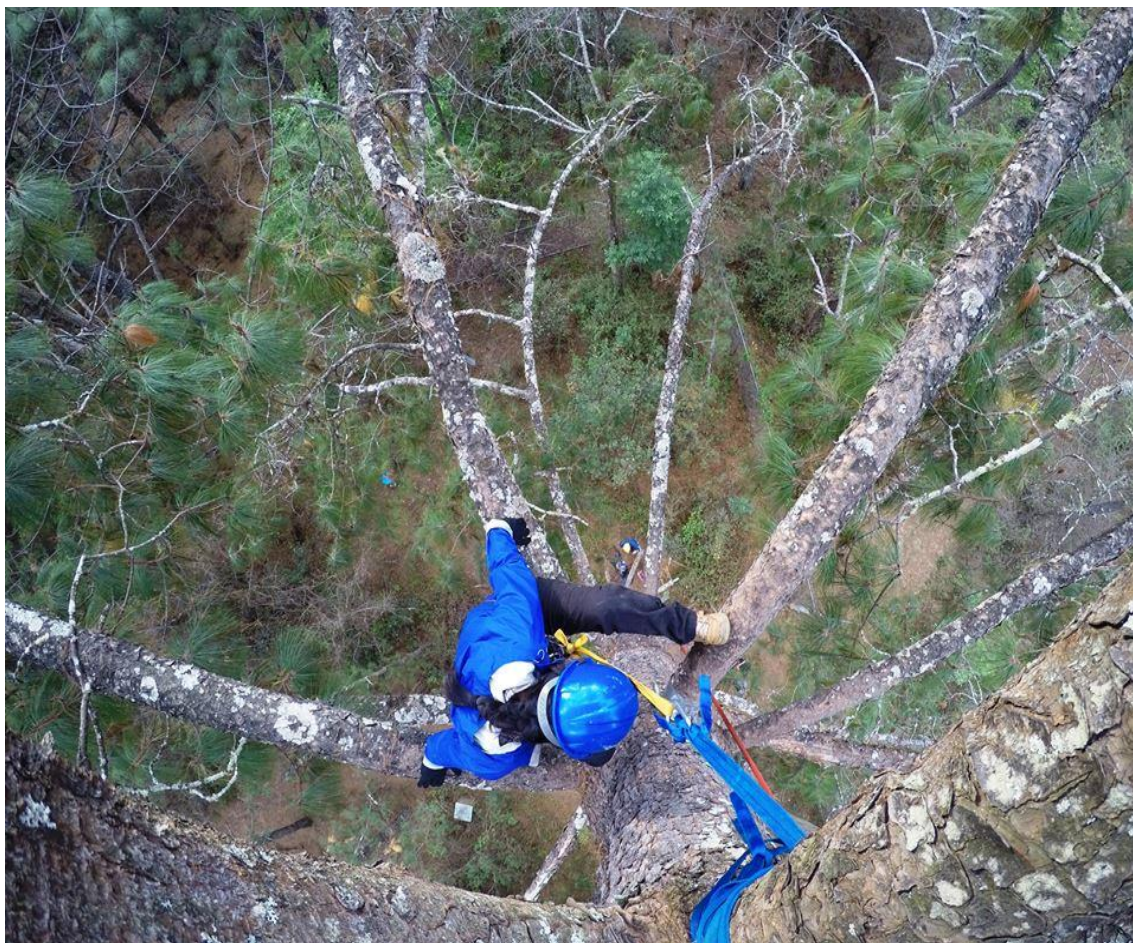


Figura 2. Vista cenital del bosque de pino-encino.

Fotografía tomada desde el dosel de un pino (Pinus leiophylla) en la estación ecohidrológica "Alto fresno".

7. MÉTODOLOGÍA

7.1 SISTEMA PERFILADOR TERMOHIDROMÉTRICO

Se construyó un sistema perfilador termohidrométrico (PTHM) que registra la temperatura del aire y humedad relativa en varios puntos verticales dentro del dosel del bosque. El sistema funciona con el principio del psicómetro, empleando termistores digitales (DS18B20, Maxim Integrated Inc.) con resolución de 0.05°C que se configuraron como sensores de bulbo seco y bulbo húmedo. El sistema PTHM se compone de 4 psicómetros conectados mediante cables estándar J11 (cable de tipo telefónico) a un datalogger electrónico (placa Arduino Pro-Mini 3.3) diseñado y construido por Gómez-Tagle *et al.*, 2013. Los datos se almacenaron en archivos de texto ASCII utilizando una memoria MicroSD. El código del datalogger, en el lenguaje propio de Arduino, que controla los termistores se proporciona en el *anexo A*.

En cada psicómetro, ambos sensores y el depósito de agua para el bulbo húmedo se colocaron dentro de un escudo de radiación solar, construido siguiendo las recomendaciones de Holden *et al.*, (2013). El escudo resguarda los termistores de la lluvia y permite el flujo convectivo del aire al interior del sistema, proporcionando las condiciones existentes bajo condición estándar de “sombra”. El datalogger y la fuente de poder (AAx 4) se colocaron dentro de una caja estanca de plástico (Pop-It, 16 x 11 x 6 cm). En la figura 3 se muestra un diagrama del sistema PTHM y el funcionamiento del escudo de radiación solar.

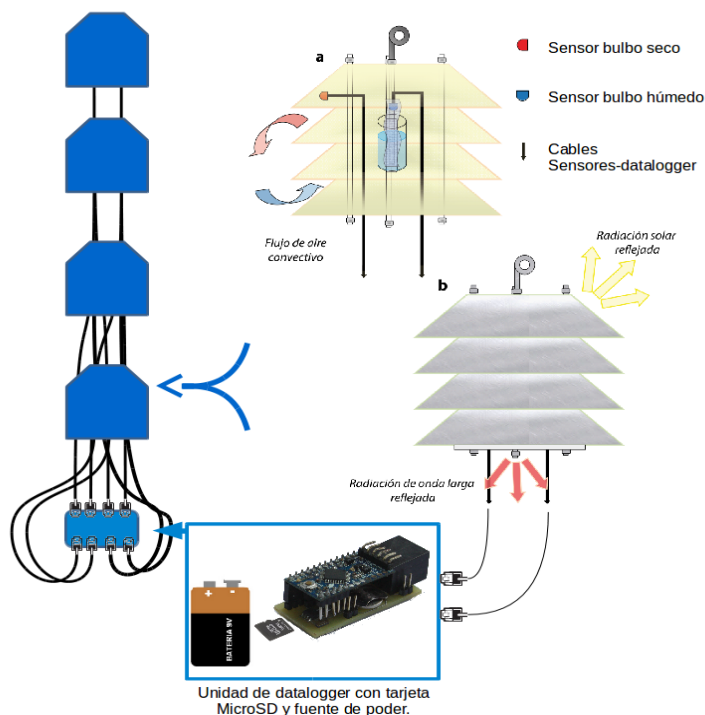


Figura 3. Componentes del sistema perfilador termohidrométrico (PTHM).

Se muestran los 4 psicómetros conectados con cables J11 a un datalogger y una fuente de poder. El datalogger y la fuente de poder se encuentran dentro de una caja estanca (izquierda). Componentes del psicómetro y funcionamiento del escudo de radiación solar (derecha).

7.2 MEDICIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA POR EL MÉTODO DEL PSICÓMETRO

El PTHM mide la humedad relativa por medio de psicómetros. Por este medio, datos de dos termómetros con configuraciones distintas son necesarios para calcular la humedad relativa en un punto. Un termómetro se configura como bulbo seco, el cual mide la temperatura ambiente, y otro como bulbo húmedo que mide la temperatura de una fuente de agua en evaporación. La evaporación desde la superficie del bulbo húmedo dentro de una corriente de aire, enfría el bulbo hasta una temperatura estacionaria, tal que haya un equilibrio entre el calor perdido por la evaporación y el ganado por la convección y radiación (Medrano, 2003). A partir de los datos obtenidos con ambos termómetros y la presión atmosférica local, se calcula la humedad relativa mediante ecuaciones específicas (e.g., Ferrel; Carrier, citado en Medrano, 2003). Estas ecuaciones toman en cuenta la presión parcial que puede ejercer el vapor de agua a una temperatura particular y la presión parcial real de vapor de agua a la misma temperatura.

7.3 CALIBRACIÓN DEL PTHM

El PTHM se calibró utilizando datos de temperatura y humedad registrados por una estación meteorológica automatizada (Sistema de control y medición marca Campbell, modelo CR1000; transmisor meteorológico con sensor de temperatura y humedad marca Vaisala, modelo WXT510) instalada en el Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, Michoacán, México. Las coordenadas de la estación meteorológica utilizada en la calibración son $19^{\circ} 41' 22.8''$ N, $101^{\circ} 14' 58.57''$, a una altitud de 1,837 msnm.

Los cuatro psicómetros se desplegaron horizontalmente a 1.8 m sobre el suelo y aproximadamente a 3.0 m de la estación de referencia. El escudo de radiación solar, conteniendo los sensores de temperatura y humedad de la estación meteorológica, se instaló a 2.0 m sobre el suelo (figura 4). Finalmente, el PTHM se programó para obtener datos de bulbo seco y húmedo durante un período de 138 horas, en intervalos de 10 minutos (13 de Marzo del 2014, 16:43 hrs a 19 de Marzo del 2014, 10:46 hrs, tiempo local). Las mediciones del PTHM se sincronizaron con las mediciones de la estación de referencia.

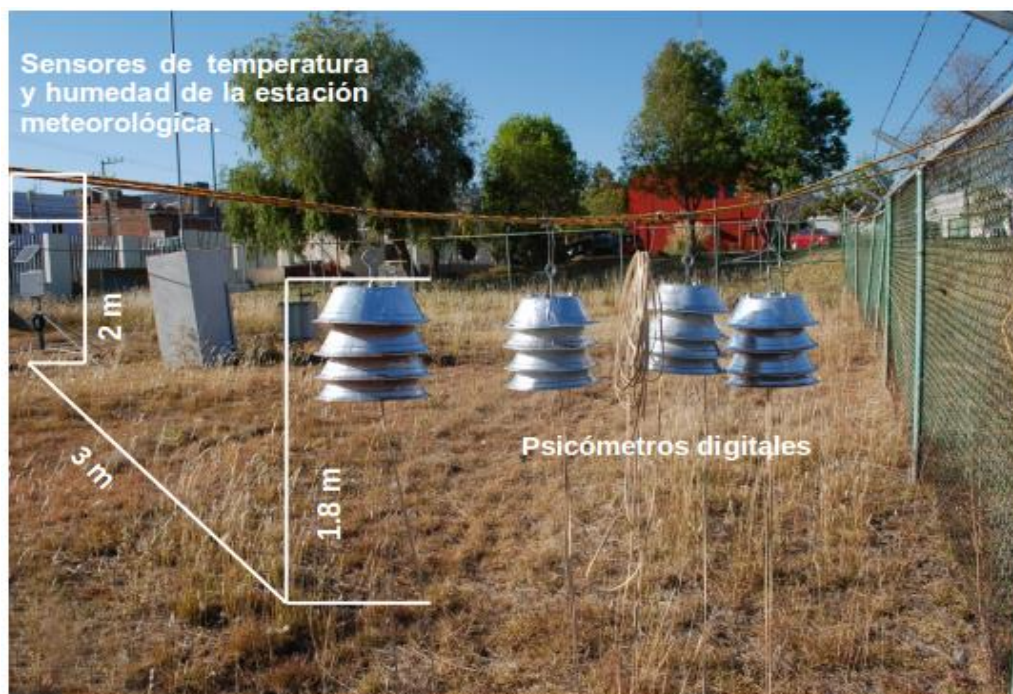


Figura 4. Instalación para la calibración del PTHM.

Se calibraron los sensores de temperatura y psicómetros del PTHM con los sensores de temperatura y humedad (Vaisala, WXT510) de la estación meteorológica automatizada ubicada en el INIRENA ($19^{\circ}41'22.8''$ N, $101^{\circ}14'58.57''$) a 1,837 msnm.

Después de la adquisición de datos, se determinó la humedad relativa para el PTHM (ec. 1) a partir del cálculo de la presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado (ec. 2) y el cálculo de la presión parcial real de vapor de agua en aire húmedo (ec. 3) por el método de Ferrel (Medrano, 2003).

$$HR = \frac{e(T)}{e_s(T)} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

HR = humedad relativa en %.

$e_s(T)$ = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado, en Pa. (ec. 2)

$e(T)$ = presión parcial real del vapor de agua en aire húmedo, en Pa. (ec. 3)

$$e_s(T) = 1Pa * e^{(A*T^2 + B*T + C + \frac{D}{T})} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$e_s(T)$ = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo seco (T).

$e = 2.718$: base de logaritmo natural (neperiano) o número de Euler.

$A = 1.238 * 10^{-5}$

$B = -1.912 * 10^{-2}$

$C = 33.937$

$D = -6.343 * 10^3$

$T = t (^{\circ}\text{C}) + 273.15$: temperatura ambiente de bulbo seco en K.

$$e(T) = e_s(Tw) - P * (T - Tw) * (\psi + \varphi * Tw) \quad \text{Ec. 3 (Ferrel)}$$

Donde:

$e(T)$ = presión parcial real de vapor de agua en aire húmedo en Pa, a la temperatura de bulbo seco (t ó T).

$e_s(Tw)$ = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo húmedo (Tw ó tw).

P = presión atmosférica local en Pa.

$Tw = tw(^{\circ}\text{C}) + 273.15$: temperatura de bulbo húmedo en K.

$$\psi \text{ (psi)} = 4.53 * 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

$$\varphi \text{ (fi)} = 7.59 * 10^{-7} \text{ K}^{-2}$$

Finalmente, se obtuvieron valores de correlación, regresión y error de medición a través de la comparación directa de la temperatura y humedad registradas por el PTHM y la estación meteorológica. Después de la calibración, el PTHM se instaló en el sitio de estudio.

7.4 MOTAJE DEL PTHM EN CAMPO

El PTHM se montó en el bosque dentro del dosel de un individuo de *Pinus devoniana* de 26.8 m de altura, con una superficie de copa de 125.7 m² y DAP de 96.3 m. La selección del pino se hizo tomando en cuenta la densidad arbórea de los alrededores, la altura del árbol, la accesibilidad a la copa mediante técnicas de escalada en dosel y la cercanía del pino a la zona resguardada de la estación Alto-Fresno.

El PTHM se fijó a un cable de acero que se ancló, mediante un sistema de polea, en una rama del pino a una distancia de 4 m del tronco principal y una altura de 24.5 m. El sistema de polea permitió la revisión de los reservorios de agua de los psicómetros y la descarga de datos de la memoria desde el piso.

Los psicómetros del perfilador se distribuyeron verticalmente dentro del dosel a 4 alturas distintas a partir del nivel del suelo: 2, 5, 10 y 20 m (figura 5 y 6).

7.5 REGISTRO DE DATOS

Se midió la temperatura del aire y la humedad relativa dentro del bosque en intervalos de 10 minutos entre el 01 de Abril del 2014, 00:10 hrs y el 18 de Julio del 2014, 22:00 hrs. Durante este período, cada dos semanas se revisaron y rellenaron los reservorios de agua de los psicómetros.

Se registraron variables micrometeorológicas de referencia cada 10 minutos por medio de una estación meteorológica automatizada (Vantage Pro II, Davis Inc.). La estación de referencia (ER) fue instalada a 2,180 m.s.n.m. y 2.5 metros sobre el suelo en un claro del bosque, ubicado a 350 m del sitio de montaje del PTHM. Las variables micrometeorológicas incluyeron: temperatura del aire y humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitación, presión atmosférica y radiación solar (figura 5).

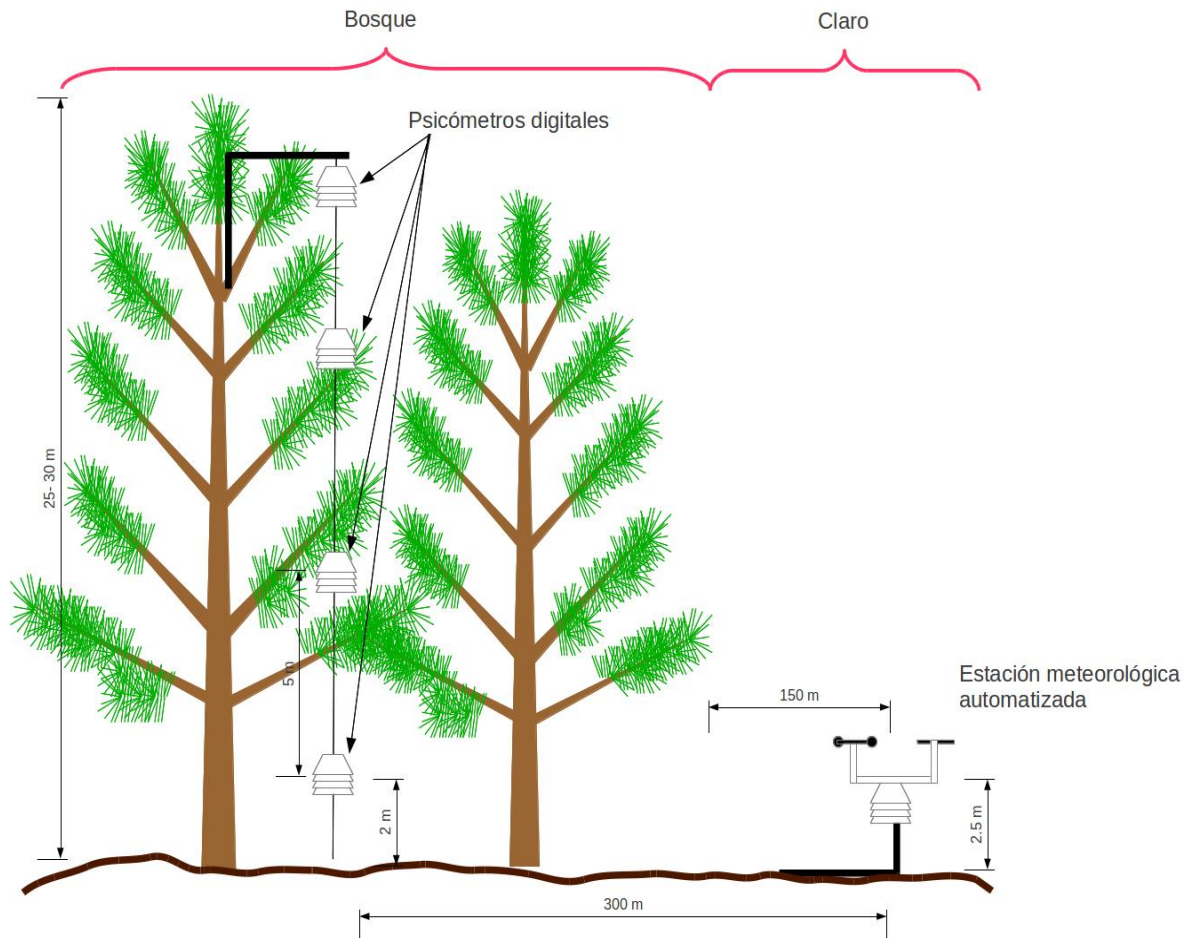


Figura 5. Distribución de los psicómetros del PTHM y de la estación de referencia dentro del bosque.

Los psicómetros del PTHM se instalaron a 2, 10, 15 y 20 m de altura sobre el suelo dentro del dosel del bosque de pino-encino. La ER se encuentra instalada a 300 m de distancia en un claro del bosque y a 2.5 m de altura sobre el suelo.

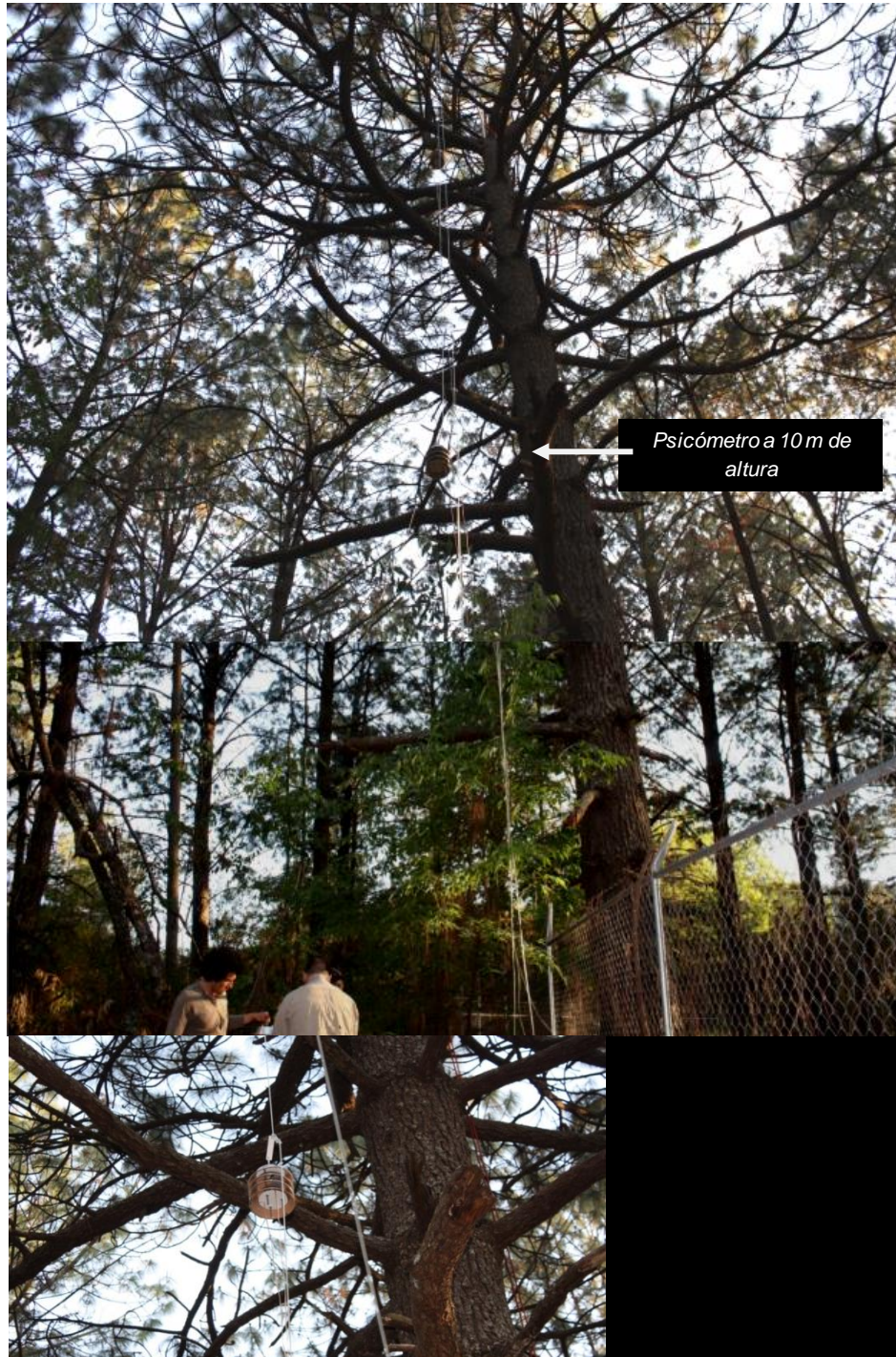


Figura 6. Montaje del PTHM en campo.

Los psicómetros del PTHM se sujetaron a un cable de acero, que forma el sistema de polea, dentro del dosel de bosque de pino-encino (arriba). Psicómetro a 10 metros de altura (abajo).

7.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos incluyó: **1)** La separación de los datos en dos subconjuntos, temporada seca y temporada de lluvia, a partir del análisis gráfico de las precipitaciones y oscilaciones térmicas obtenidas con los datos de la estación meteorológica de referencia instalada en el claro del bosque (figura 7a). La temporada seca comprendió de 34 días (01 Abril–05 Mayo del 2014). Mientras que la temporada húmeda comprendió de 32 días (03 Junio-18 Julio del 2014); **2)** El llenado lineal de huecos (datos no registrados) para los datos de ambos bulbos del PTHM (figura 7b). Se desarrolló un algoritmo específico de llenado lineal de huecos utilizando el lenguaje de programación R (el código del algoritmo se proporciona en el *anexo B: Funciones, 3 .Llenado lineal de huecos*); **3)** Eliminación de los datos de ambos bulbos correspondientes a los momentos en que el agua del depósito del bulbo húmedo se terminó (figura 7c); **4)** Cálculo de la humedad relativa para las cuatro alturas del dosel utilizando la ecuación de Ferrel (ec.3). Se utilizaron los datos de bulbo seco y bulbo húmedo de los psicómetros y la presión atmosférica de la estación de referencia instalada en el claro del bosque; **5)** Corrección por calibración de los datos de temperatura y humedad del dosel aplicando las ecuaciones correspondientes (véase apartado 7.1; Tabla 4). **6)** Delimitación y transformación de los valores atípicos (“Winsorization”) (Hasings *et al.*, 1947) de humedad relativa generados en el proceso de calibración.

Después del procesamiento de datos se obtuvieron los valores máximos, mínimos y medias de temperatura del aire y humedad relativa para cada altura del dosel y para el claro del bosque, durante ambas temporadas; también se obtuvieron las medias para cada hora del día. Este comportamiento diario se resumió a partir del cálculo de las oscilaciones térmicas e hídricas durante el día y noche. Para el cálculo de las oscilaciones se utilizaron los días con número de registros mayor o igual al 80%. Los períodos diurnos y nocturnos se definieron utilizando funciones astronómicas estándar dentro del software libre Kstars v 2.2.0 (The KStars Team, (c) 2001-2013) (*Tools->Calculator->Time Calculators->Almanac->Interactive Mode: Date= 14/05/2014; Longitude= -101 14 34.00; Latitude= 19 32 34.00 UT offset= -6.00*). La duración del período diurno fue de 13:02 hrs (07:09 hrs a 20:12 hrs) para ambas temporadas.

Posteriormente, se hicieron comparaciones entre las alturas del dosel y el claro del bosque, entre temporadas y entre períodos del día por medio de análisis de varianza de

una y dos vías (ANOVA). La comparación *post-hoc* de las medias se realizó mediante pruebas de Tukey (Tukey, 1949). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando R v 3.1.1 (The R Foundation for Statistical Computing, 2012); para consultar el código en lenguaje R refiérase al *anexo B*. En la figura 8 se resume en un diagrama de flujo los pasos efectuados durante el procesamiento y análisis de los datos.

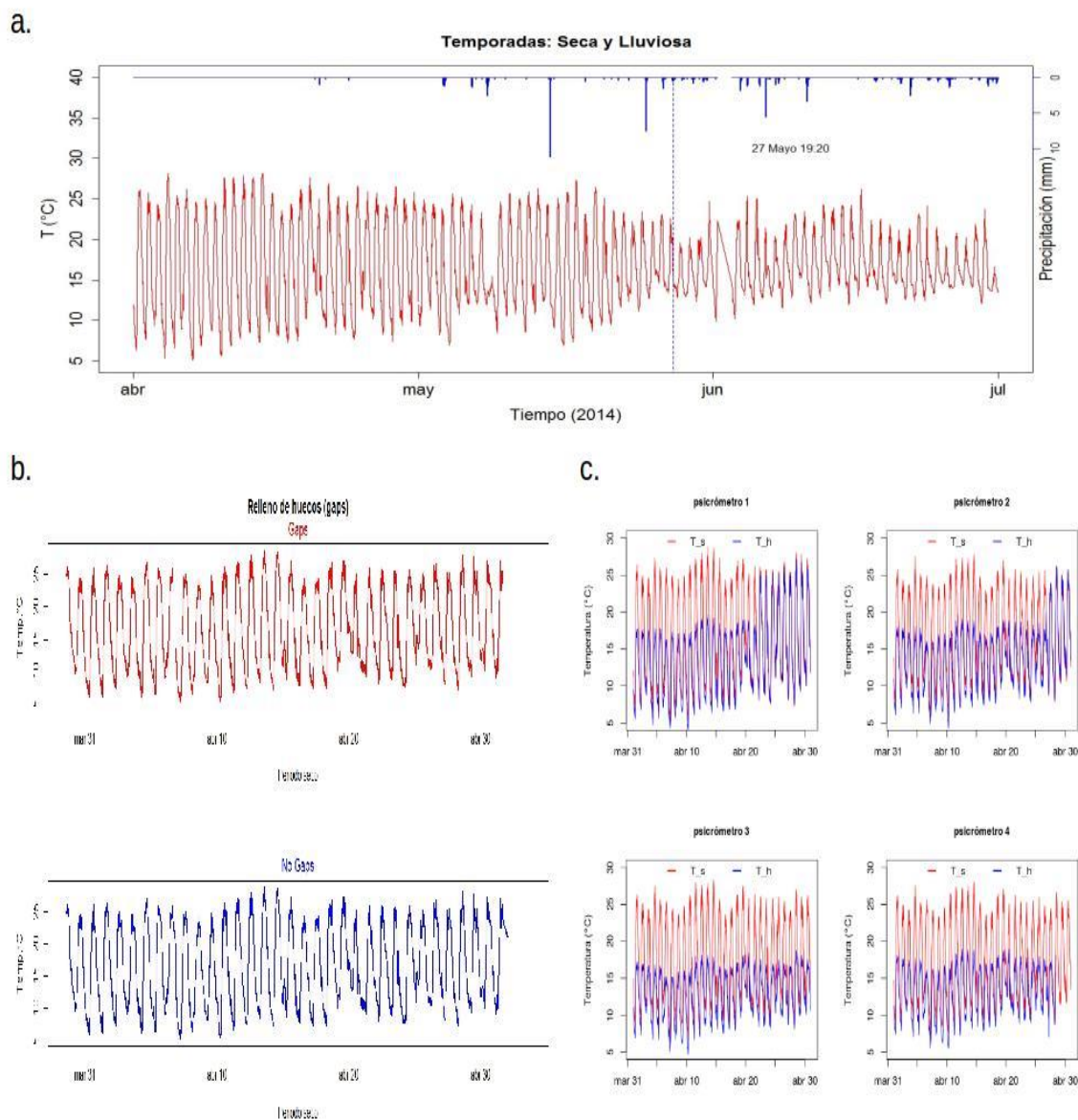


Figura 7. Algunos de los pasos realizados en la depuración y el procesamiento de datos.

a. Segmentación de los datos por temporadas (seca y lluviosa). **b.** Llenado lineal de huecos. **c.** Comparación de temperaturas registradas por bulbos secos y bulbos húmedos para cada psicrómetro. El traslape de las series de tiempo rojas y azules indica que el agua del psicrómetro se agotó (psicrómetros 1 y 2).]

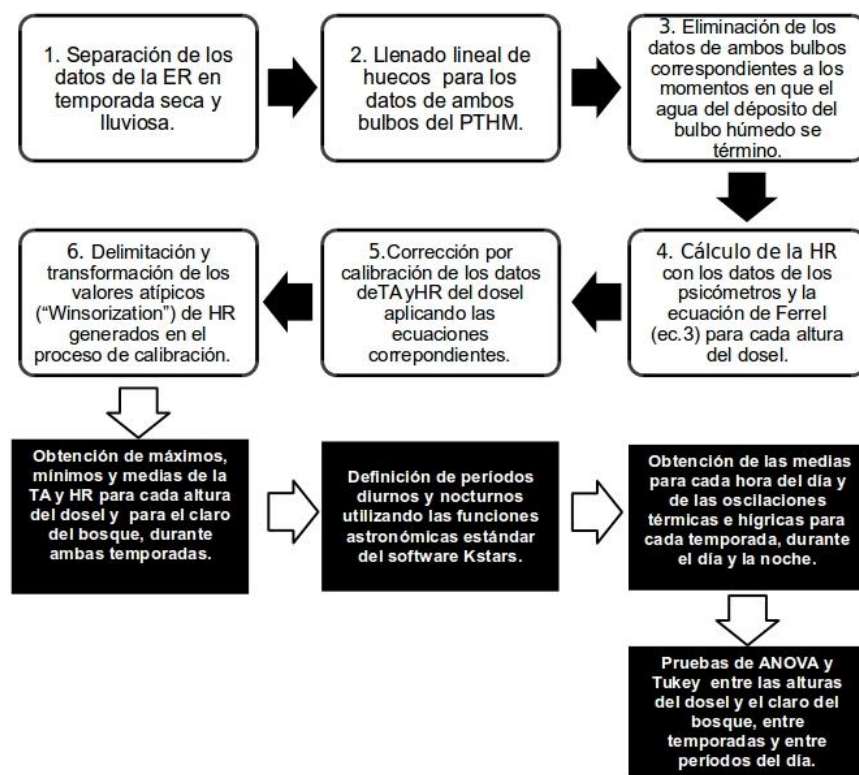


Figura 8. Diagrama de flujo que describe los pasos realizados en el procesamiento y análisis de datos. En color blanco se muestran los pasos para el procesamiento de datos y en negro los pasos para el análisis.

8. RESULTADOS

8.1 CALIBRACIÓN

Los procedimientos de la calibración indicaron que existe buena concordancia entre los sensores de temperatura del PTHM y los de la ER, pero se observó una diferencia considerable para los valores de humedad relativa. Una pequeña diferencia se observó entre los sensores de temperatura de ambos sistemas (tabla 3), por lo que se generaron ecuaciones lineales para corregir las mediciones brutas de temperatura del PTHM. Los coeficientes de determinación para los modelos lineales estuvieron por encima de 0.94 en todos los casos; mientras que la Raíz del Error Medio Cuadrático (REMC) se encontró entre 0.93°C y 1.36°C (tabla 4). El error medio porcentual para los modelos lineales fue de 3.38% y en todos los casos el intercepto y la pendiente fueron significativos ($p < 0.001$). Las diferencias observadas en la humedad relativa se corrigieron con polinomios de segundo grado (tabla 4). Después de aplicar la corrección por calibración a los valores brutos de temperatura y humedad del PTHM, los valores resultantes presentaron mayor concordancia con los valores de la ER (tabla 3 y figuras 9 y 10).

Tabla 3. Descripción de las mediciones de temperatura del aire y humedad relativa del PTHM y la ER del INIRENA.

Para cada sensor (S) se indican los datos sin corregir y entre paréntesis los corregidos.

Temperatura del aire (°C)					
	Min	Media	Max	DS	N
ER	7.79	17.48	27.77	5.57	
PTHM S1	7.81 (7.95)	18.03 (17.55)	30.12 (28.92)	5.87 (5.52)	829
PTHM S2	8.00 (7.97)	18.45 (17.48)	30.87 (28.78)	6.03 (5.49)	829
PTHM S3	7.56 (8.28)	18.47 (17.55)	31.56 (28.68)	6.38 (5.43)	829
PTHM S4	7.81 (8.01)	18.08 (17.46)	30.25 (28.65)	5.95 (5.47)	829
Humedad relativa (%)					
ER	9.95	38.85	66.67	14.44	
PTHM S1	22.31 (9.22)	53.20 (31.89)	84 (62.12)	15.19 (13.05)	540
PTHM S2	21.68 (12.06)	50.22 (35.82)	82.2 (72.32)	13.63 (13.27)	540
PTHM S3	25.11 (19.08)	55.76 (36.89)	88.48 (75.98)	14.37 (12.66)	540
PTHM S4	20.85 (15.49)	53.72 (38.85)	82.14 (68.7)	15.15 (13.48)	365

Tabla 4. Ecuaciones de corrección para la temperatura del aire y humedad relativa para cada psicómetro del PTHM.

Temperatura del aire (°C)			
	Ecuación ajustada	r ²	REMC
PTHM S1	$y = 0.94x + 0.61$	0.97	0.93
PTHM S2	$y = 0.91x + 0.69$	0.97	0.94
PTHM S3	$y = 0.85x + 1.85$	0.94	1.36
PTHM S4	$y = 0.92x + 0.82$	0.97	1.01
Humedad relativa (%)			
PTHM S1	$y = 0.005x^2 + 0.29x + 3.93$	0.86	5.36
PTHM S2	$y = 0.006x^2 + 0.33x + 1.87$	0.89	4.78
PTHM S3	$y = 0.012x^2 - 0.49x + 23.62$	0.67	6.40
PTHM S4	$y = 0.007x^2 + 0.11x + 9.95$	0.87	5.15

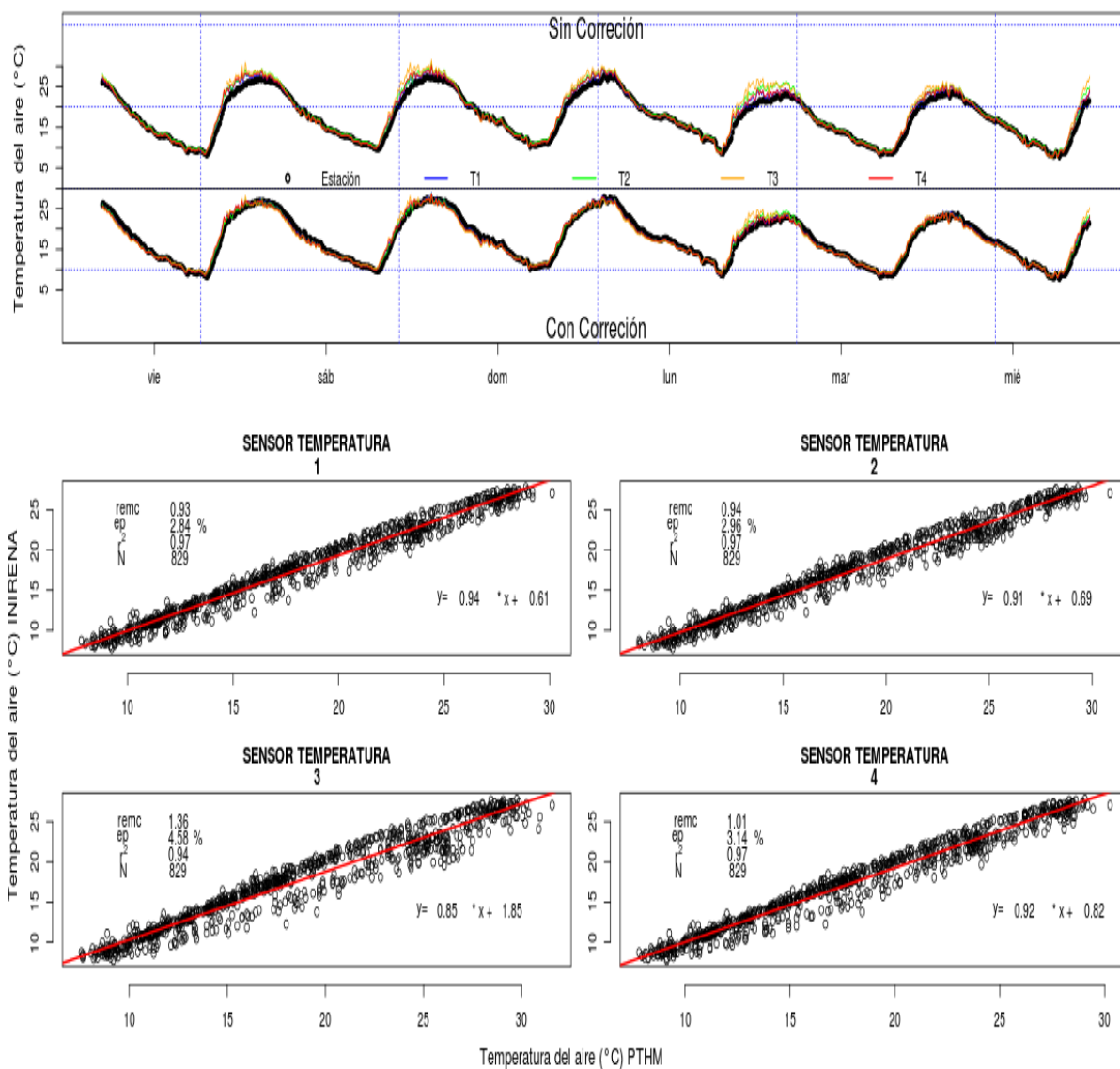


Figura 9. Calibración del perfilador termohidrométrico para la temperatura del aire.

Comparación entre los datos de temperatura de la estación meteorológica de referencia y los datos brutos y calibrados del PTHM (arriba). Modelos de calibración para los 4 termistores del PTHM (abajo).

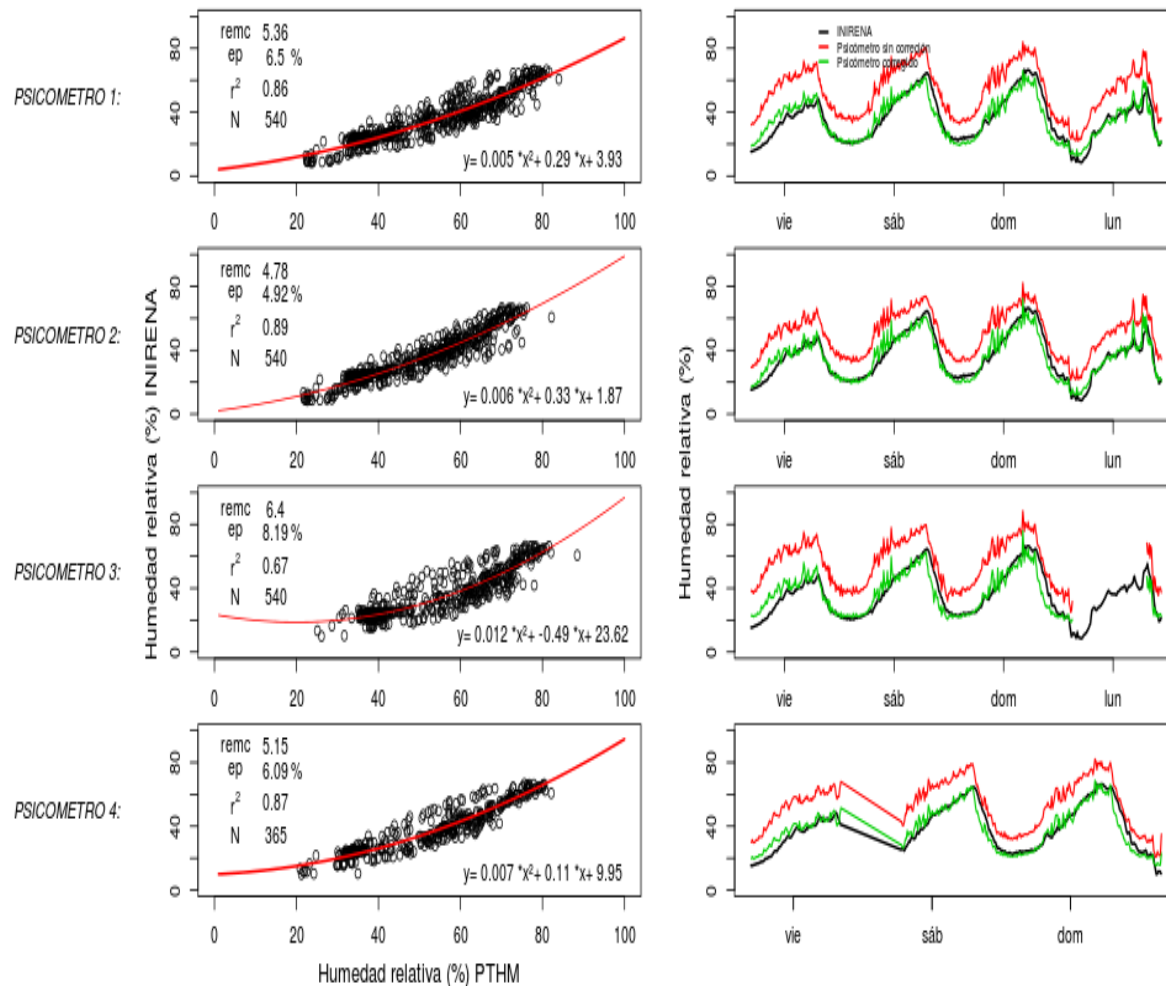


Figura 10. Calibración del perfilador termohidrométrico para la humedad relativa.

Modelos de calibración para los 4 psicómetros del PTHM (izquierda). Comparación entre los datos de humedad relativa de la estación meteorológica de referencia y los datos brutos y calibrados del PTHM (derecha).

El procedimiento de calibración permitió evaluar el desempeño del PTHM y derivar ecuaciones empíricas para corregir los errores en la toma de datos de cada uno de los sensores. Una vez terminada esta fase se procedió a desplegarlo en campo y realizar los registros en el bosque.

8.2 MONTAJE EN EL BOSQUE

8.2.1 Temperatura del aire

El rango de las temperaturas medias diarias bajo el dosel se encontró entre 5.4 °C (2 m) y 27.7 °C (2 m) durante la temporada seca, y entre 8.9°C (10 m) y 23.8 °C (2 m) durante la temporada lluviosa; con medias para el todo el dosel de 16.3°C y 15.3°C, respectivamente. A pesar de que los análisis estadísticos indicaron diferencias significativas para las temperaturas registradas a diferentes alturas (g.l.=4; $F=92.17$; $p<0.001$) y en distintas temporadas (g.l.=1; $F=542.43$; $p<0.001$), las diferencias entre las alturas del dosel con mayor y menor temperatura promedio fueron pequeñas: 0.8°C para la temporada seca y 0.6 para la temporada de lluvia. Estos valores se encuentran dentro de los rangos recopilados por Komatsu *et al.* (2007) para distintos tipos de bosque. Similarmente, la diferencia de temperatura entre temporadas fue de 1°C. Por otra parte, en el claro del bosque se presentaron las máximas temperaturas: 28.1°C durante la temporada seca y 26.2°C durante la temporada lluviosa; con medias de 16.7°C y 16.3°C, respectivamente. Adicionalmente, la temperatura promedio en el claro del bosque fue mayor que la temperatura promedio de todo el dosel durante ambas temporadas, hasta un 1°C durante la temporada de lluvias (figura 11 y tabla 5).

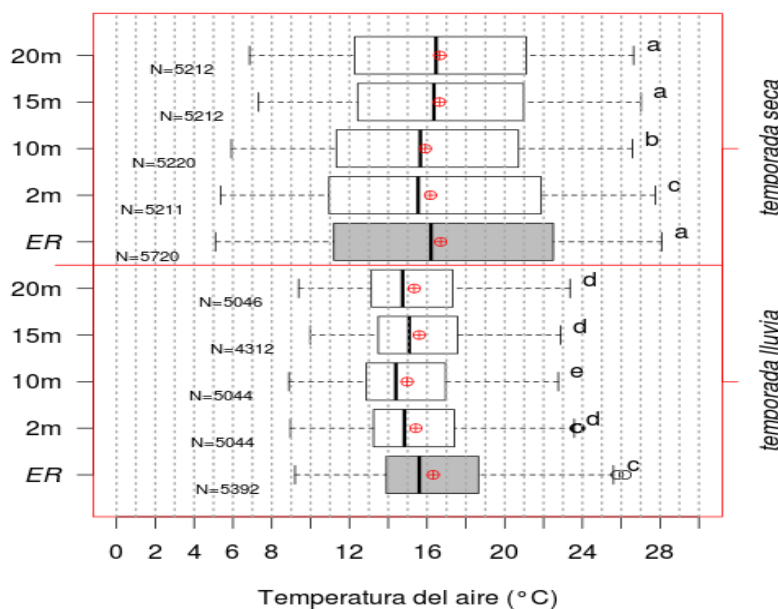


Figura 11. Temperatura del aire dentro del dosel y en el claro del bosque.

Se muestra la temperatura del aire para 4 alturas dentro del dosel y para el claro del bosque durante la temporada seca y lluviosa. Los círculos con cruz representan valores medios, las letras minúsculas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) y N corresponde al número de días analizados.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos para la temperatura del aire dentro del dosel del bosque y para el claro del bosque.

Se indican los valores para la temporada seca y entre paréntesis los valores para la temporada de lluvias. Las letras superíndices indican diferencias significativas entre las humedades relativas de las distintas alturas del dosel ($p < 0.05$).

Temperatura del aire (° C)				
Altura (m)	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
Dosel				
2	5.37 (8.96)	16.17 ^c (15.42 ^d)	27.75 (23.82)	5.71 (2.88)
10	5.92 (8.88)	15.91 ^b (14.97 ^e)	26.57 (22.76)	4.96 (2.74)
15	7.32 (9.98)	16.63 ^a (15.60 ^d)	27.03 (22.89)	4.55 (2.67)
20	6.86 (9.39)	16.66 ^a (15.34 ^d)	26.64 (23.36)	4.75 (2.83)
Promedio dosel	6.37 (9.30)	16.34 (15.33)	27 (23.21)	4.99 (2.78)
Claro del bosque				
2.5	5.10 (9.20)	16.70 ^a (16.31 ^c)	28.10 (26.20)	5.98 (3.20)

8.2.2 Oscilaciones térmicas

Las oscilaciones térmicas fueron significativamente mayores durante el día en comparación con la noche, para ambas temporadas (g.l.=1; $F=39861.2$; $p<0.001$).

Durante la temporada seca, el dosel a los 2 m se comporta igual que el claro del bosque, mientras que el resto de las alturas presentaron oscilaciones térmicas menores ($df=4$; $F=5.179$; $p<0.001$). En contraste, durante la temporada de lluvia no hubo diferencias significativas en las oscilaciones térmicas entre alturas del dosel, a pesar de que en todos los puntos estas fueron estadísticamente menores que la oscilación térmica en el claro del bosque ($df=4$; $F=23.411$; $p<0.001$) (figura 12).

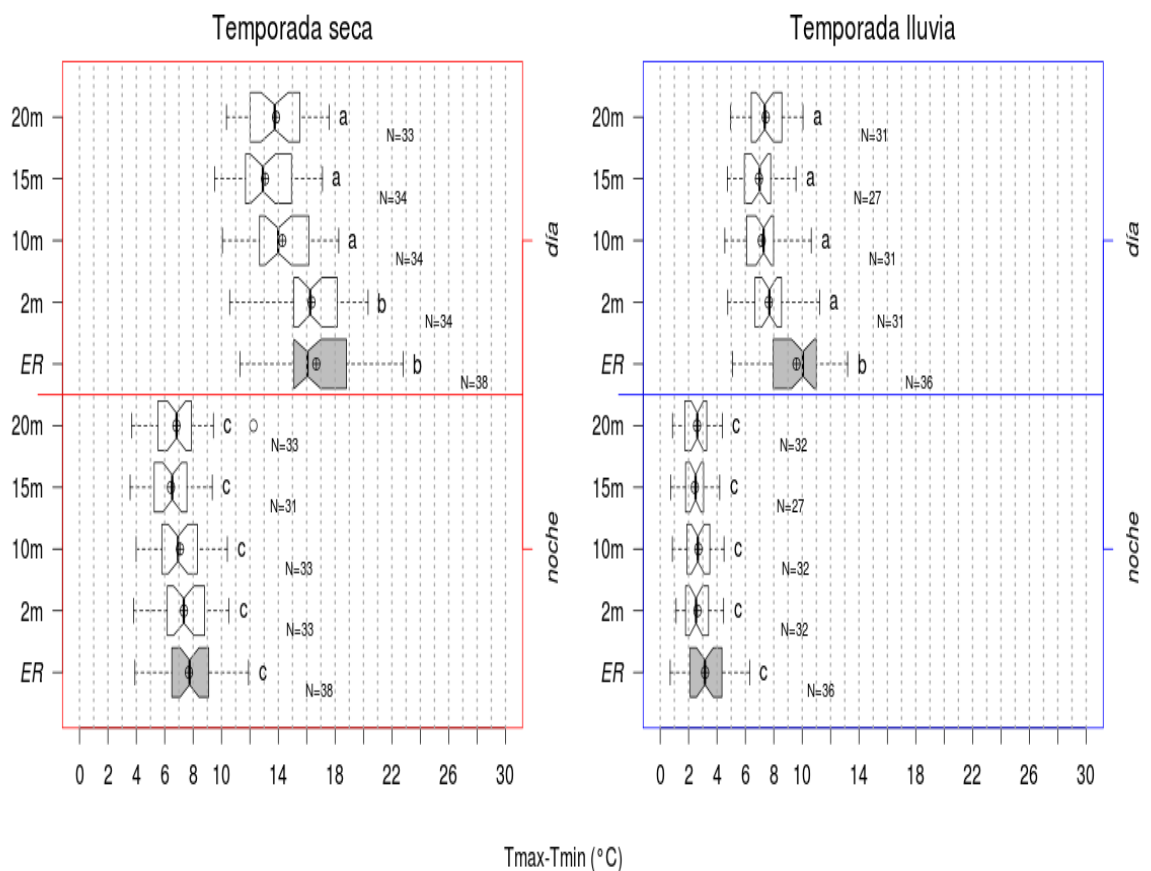


Figura 12. Oscilación de la temperatura del aire dentro del dosel y en el claro del bosque.

Se muestran las oscilaciones térmicas ($T_{max}-T_{min}$) para las diferentes alturas (metros sobre el nivel del suelo) dentro del dosel de bosque de pino-encino y para el claro del bosque (ER), durante el día y noche de las temporadas seca y lluviosa. Los círculos con cruz representan valores medios, las letras minúsculas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) y N corresponde al número de días analizados.

8.2.3 Humedad relativa

El rango de la HR dentro del dosel se encontró entre 16.8% (2 m) y 100% (10,15 y 20 m) durante la temporada seca, y entre 14.5% (20 m) y 100% (10, 15 y 20m) durante la temporada de lluvia. Se presentaron diferencias significativas en la humedad relativa entre los diferentes niveles (g.l.=4; $F=313.1$; $p<0.001$) y entre temporadas (g.l.=1; $F=39861.2$; $p<0.001$). Como se esperaba, la HR dentro del dosel y el claro del bosque fue mayor en la temporada seca (82.7%) que en la temporada lluviosa (50.9%). Sin embargo, sorpresivamente, el claro del bosque fue más húmedo (~10% mayor) que el dosel en ambas temporadas. La diferencia entre la altura del dosel con mayor y menor HR promedio fue de 7.2% y 10.2% para la temporada seca y lluviosa, respectivamente (figura 13 y tabla 6).

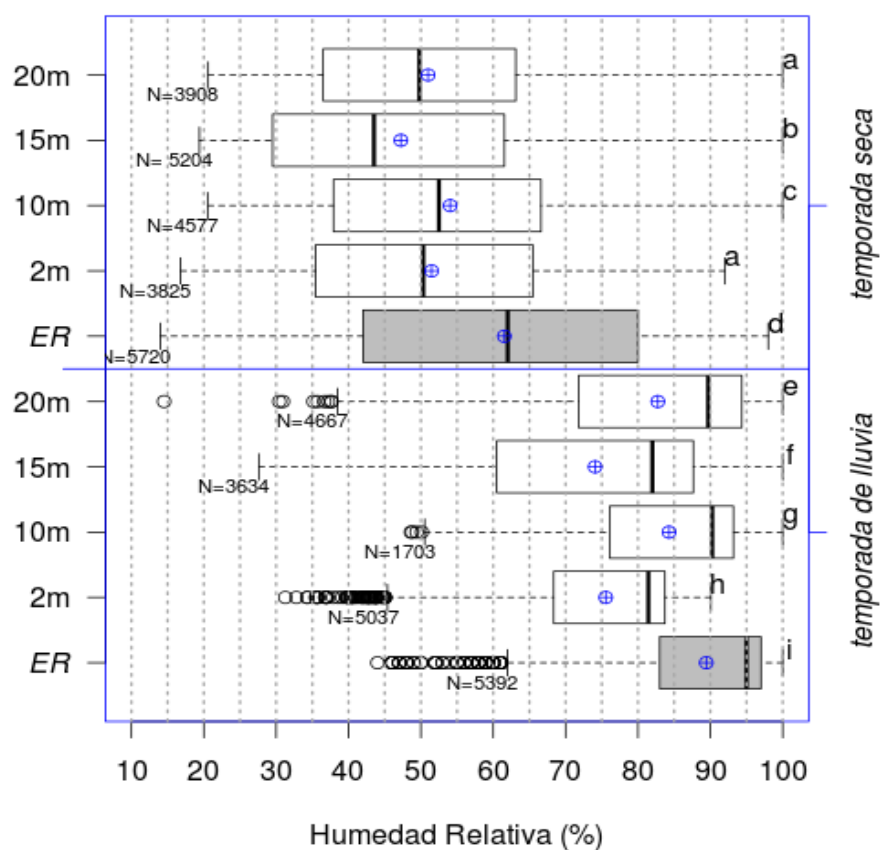


Figura 13. Humedad relativa dentro del dosel y en el claro del bosque.

Se muestra la humedad relativa para 4 alturas dentro del dosel y para el claro del bosque durante la temporada seca y lluviosa. Los círculos con cruz representan valores medios, las letras minúsculas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) y N corresponde al número de días analizados.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para la humedad relativa dentro del dosel del bosque y para el claro del bosque.

Se indican los valores para la temporada seca y entre paréntesis los valores para la temporada de lluvias. Las letras superíndices indican diferencias significativas entre las humedades relativas de las distintas alturas del dosel ($p < 0.05$).

Humedad relativa (%)				
Altura (m)	Mínima	Media	Máxima	Desviación estándar
Dosel				
2	16.8 (31.3)	51.5 ^a (75.6) ^h	92.0 (90.1)	18.2 (11.4)
10	20.5 (48.6)	54.1 ^c (84.3) ^g	100.0 (100.0)	18.7 (12.2)
15	19.4 (27.6)	47.2 ^b (74.1) ^f	100.0 (100.0)	19.9 (16.2)
20	20.6 (14.5)	51.0 ^a (82.7) ^e	100.0 (100.0)	16.8 (14.4)
Promedio dosel	19.35 (30.51)	50.94 (79.16)	98.01 (97.52)	18.42 (13.57)
Claro del bosque				
2.5	14.0 (44.0)	61.5 ^d (89.4) ⁱ	98.0 (100.0)	21.5 (10.3)

9. DISCUSIÓN

9.1 TEMPERATURA

En el bosque de pino-encino estudiado las ramas con presencia de hojas ocurren a partir de los 10 metros de altura (figura 6). Durante la noche, esta cobertura puede funcionar como una manta (Brower *et al.*, 2011), aislando el ambiente en las zonas intermedias del dosel (10,15 y 20 m) de la pérdida de calor radiante hacia la atmósfera y reduciendo el mezclado advectivo con el aire frío que circula sobre el dosel. La homogenidad en el comportamiento térmico entre los 10, 15 y 20 m (figura 15) se debe a que en estos puntos la estructura del dosel ya presenta ramas y vegetación, generando una superficie parcialmente cerrada; y a pesar que los 20 metros es el punto más alto muestreado, no se encuentra en contacto directo con la atmósfera. Por el contrario, a los 2m de altura la biomasa está representada en su mayoría por los troncos de los árboles y, en menor cantidad, por las coberturas de copas de algunos arbustos y árboles jóvenes, lo que genera un dosel más abierto. Este ambiente menos denso permite que el viento frío penetre con mayor fuerza que en las zonas donde el viento es suavizado por la resistencia al flujo de las ramas y hojas (Raynor, 1971), y que la pérdida de radiación térmica, desde el suelo y la vegetación hacia el cielo, sea mayor. Otro factor importante es la pérdida de calor hacia el suelo, el cual funciona como un disipador de calor (Froelich *et al.*, 2011), reduciendo la temperatura del aire durante la noche de la temporada seca (Rambo, 2009).

Durante el día la radiación solar directa es el principal conductor del calentamiento del aire y del suelo (Anderson *et al.*, 2007). El dosel del bosque influye directamente en el microclima de la parte cercana al suelo, reduciendo la radiación solar disponible a través de la intercepción por la cobertura vegetal (Aussenac, 2000). Es por esto que en general observamos mayor temperatura en el claro del bosque que dentro del dosel. Sin embargo, a los 2m de altura, donde se esperaría la mayor intercepción, la temperatura del aire es muy similar al claro del bosque durante la temporada seca. La cercanía del claro del bosque al sitio muestreado en el dosel puede estar contribuyendo considerablemente a elevar la temperatura en la zona baja de éste. Rambo (2009) muestra que en un bosque en Sierra Nevada, California las temperaturas del suelo, durante el verano, en las aperturas de dosel exceden los 50°C durante algunas horas del día; mientras que las temperaturas en agrupaciones cerradas de árboles adyacentes se mantienen con

temperaturas mucho menores (28°C). El calentamiento del suelo a este nivel contribuye a elevar la temperatura durante el día en las superficies cercanas (Rambo, 2009). También Brower *et al.* (2011) reportan para un bosque de oyamel, con densidad arbórea similar al bosque de pino-encino estudiado, temperaturas ligeramente más elevadas en los 2m de altura que en los niveles superiores del dosel, durante el mediodía (12 y 13 hrs). Otro factor que puede estar contribuyendo a la similitud térmica entre la parte baja del dosel y el claro del bosque es el mezclado advectivo del aire caliente, procedente del claro, con el aire de la parte baja del dosel.

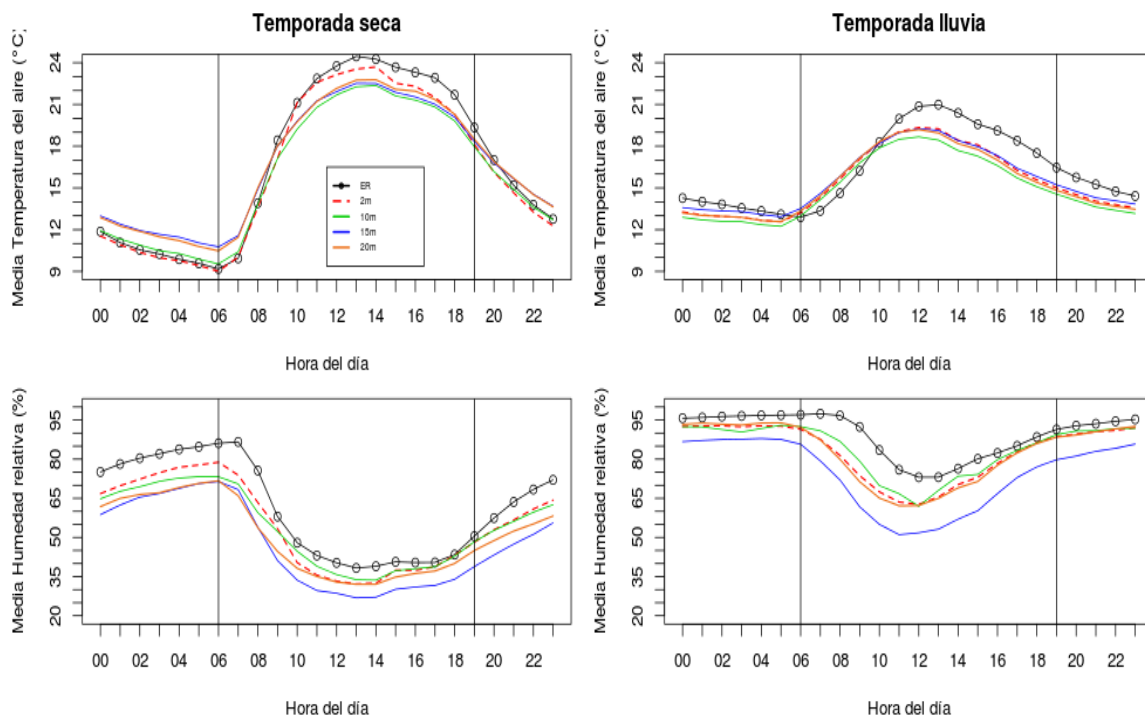


Figura 15. Medias horarias de la temperatura del aire y humedad relativa dentro del dosel del bosque y en el claro del bosque, durante la temporada seca y lluviosa.

Las líneas verticales indican la separación entre el período diurno y nocturno.

9.2 HUMEDAD RELATIVA

Las acículas de los pinos a los 15 y 20 m de altura aportan vapor de agua a través de la transpiración estomática. En los puntos bajos el agua proviene principalmente de la evaporación del suelo y en menor cantidad del agua atrapada en la rugosidad de los troncos y ramas. Es difícil saber que zonas presentan mayor tasa de evapotranspiración simplemente observando la información disponible. Suponiendo que fueran iguales, es

decir si la humedad absoluta del aire fuera igual entre las zonas bajas y altas, el hecho de que las temperaturas a los 15 y 20 m sean menores que al resto del dosel ocasiona que se observen mayores humedades relativas. Para clarificar este punto, debemos recordar que el concepto de humedad relativa se refiere a la cantidad de vapor de agua que una masa de aire contiene en relación a la que podría contener a una temperatura particular. Este último punto explica el aumento de la humedad relativa durante la noche. En conjunto, la ausencia de un gradiente térmico dentro del dosel y la diferenciación en el tipo y cantidad de biomasa en las diferentes alturas contribuyen a que no se genere un gradiente de humedad relativa dentro del dosel.

9.3 PERFILADOR TERMOHIDROMÉTRICO

La configuración actual del PTHM cumple con su propósito, medir la temperatura y humedad en varios puntos dentro del dosel. Sin embargo, el sistema podría mejorarse en algunos aspectos: sustituyendo el sistema de psicómetros por sensores digitales de humedad relativa se evitaría la revisión de los depósitos del agua; otro aspecto que podría mejorarse es la instalación de sensores adicionales para cuantificar la radiación solar y la velocidad del viento en las diferentes alturas. Esto permitiría generar simultáneamente perfiles verticales de otras variables micrometeorológicas que permiten estudiar el microclima del dosel ampliamente y explicar con mayor detalle las causas de los patrones observados en la temperatura y humedad. Otra recomendación es instalar dos puntos más para registrar datos al nivel del suelo y en la atmósfera sobre el dosel. Éste último punto requiere un rediseño del sistema, ya que no hay puntos de anclaje tan altos en el árbol. La información recolectada con estos puntos adicionales podría utilizarse en cálculos de balance hídrico entre el suelo, la atmósfera y el bosque.

9.4 IMPLICACIONES

El perfil descrito aquí es el primero reportado para bosques de pino-encino. Los resultados reportados pueden servir como una referencia para estudios que intentan inferir procesos ecohidrológicos, como el flujo de calor y de agua, a fin de poder representar eficientemente el proceso de evapotranspiración en este tipo de bosques. El hecho de que existan variaciones en la temperatura del aire y la humedad relativa entre el claro del bosque y entre puntos del dosel debería ser tomado en cuenta al momento

de cuantificar la evapotranspiración en bosques mixtos. Métodos estándar (eg., Penman Monteith FAO, 2006) sugieren utilizar la información de la temperatura del aire, la velocidad del viento y la presión de vapor a 2 metros de altura. Estas variables son comúnmente obtenidas de estaciones meteorológicas instaladas fuera del bosque en zonas despejadas, tal como recomienda Carlyle-Moses, 2003. Utilizar datos más finos, como los obtenidos mediante los perfiles verticales, que representen mejor las variaciones en el comportamiento micrometeorológico dentro del dosel, podría afectar significativamente los cálculos de evapotranspiración obtenidos mediante los métodos estándar.

Adicionalmente, la descripción del perfil térmico e hídrico del bosque de pino-encino aporta un nuevo caso para los estudios que intentan comprender como la estructura de dosel afecta el microclima. Así como, para comprender la estratificación de los organismos asociados al dosel. Por ejemplo, las comunidades epífitas arbóreas, particularmente las epífitas poiquilohídricas como los líquenes y briófitas, son fuertemente afectadas por los regímenes de humedad y temperatura (Proctor, 1982). Las variaciones dentro del dosel también podrían influir en las condiciones de hábitat de invertebrados, mamíferos y aves, afectando sus patrones de comportamiento, desarrollo y reproducción. Por ejemplo, en los bosques de *Abies religiosa*, la riqueza y densidad de los colémbolos muscícolas disminuye conforme la altura de los árboles se incrementa (Cutz-Pool *et al.*, 2010); y los conglomerados de mayor tamaño de mariposas monarca se encuentran sobre los troncos en las alturas intermedias del dosel, donde las temperaturas son más cálidas (Brower *et al.*, 2011).

9.5 TRABAJO FUTURO

Debido a las dificultades en el proceso de montaje del PTHM dentro del bosque, para este estudio únicamente se instaló un sistema de 4 psicómetros. En trabajos futuros se recomienda instalar más de un sistema en áreas del bosque con distintas densidades para obtener un perfil vertical más representativo y así, excluir los efectos de los claros. Otra recomendación es instalar sensores por encima del dosel y a nivel del suelo para comparar el microclima en estas dos zonas con el del dosel.

10. CONCLUSIONES

Los resultados no indican la ocurrencia de un gradiente de temperatura durante la temporada seca pero si una tendencia. Las temperaturas a los 2 y 10 metros de altura fueron menores que aquellas a los 15 y 20 metros y aquellas en el claro del bosque. Durante la temporada seca se observó un patrón similar y la menor temperatura ocurrió a los 10m de altura dentro del perfil vertical. Similarmente, los resultados no confirman la ocurrencia de un gradiente de humedad relativa dentro del dosel; sin embargo las humedades más altas se observaron en el claro del bosque durante ambas temporadas. El monitoreo de la temperatura y la humedad relativa a los 2 y 10 m de altura es suficiente para representar las variaciones generales del comportamiento térmico e hídrico del dosel durante ambas temporadas. A esta información es importante agregar el comportamiento térmico e hídrico por encima del dosel y al nivel del suelo.

La estructura vertical del dosel y la cercanía de sitios sin vegetación influyen en el perfil vertical de temperatura.

Este trabajo se limita a la descripción del perfil vertical de TA y HR dentro del dosel del bosque de pino-encino, pero es una referencia para estudios futuros en áreas tan diversas como la climatología, hidrología y varias subdisciplinas de la ecología.

Comprender la micrometeorología dentro y fuera del dosel de los bosques es de gran interés para muchas aplicaciones ambientales como la previsión del tiempo y el clima, así como para los intercambios escalares entre la vegetación, el suelo y la atmósfera. Para poder cuantificar estos flujos escalares se requieren mediciones en otros dos puntos, uno al nivel del suelo y otro por encima del dosel.

11. LITERATURA CITADA

1. ANDERSON, P.D., LARSON, D.J.; CHAN, S.S. 2007. Riparian buffer and density management influences on microclimate of young headwater forests of western Oregon. *For. Sci.* (53) 254-269.
2. ARYA, S.PAL. 2001. Introduction to micrometeorology 2a. ed. Academic Press. S.Diego CA-Londres, 420 pp.
3. AUSSENAC, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: ecophy- siological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* (57) 287-301.
4. BALDOCCHI D.D. AND MEYERS T.P. 1998. On using eco- physiological, micrometeorological and biogeochemical theory to evaluate carbon dioxide, water vapor and trace gases fluxes over vegetation: a perspective. *Agric. For. Meteorol.* (90) 1-25.
5. BROWER, L. P., WILLIAMS, E. H., FINK, L. S., SLAYBACK, D. A., RAMÍREZ, M. I., GARCÍA, VÁN L., ZUBIETA, R. R., WEISS, S. B., CALVERT, W. H., ZUCHOWSKI, W. 2011. Overwintering clusters of the monarch butterfly coincide with the least hazardous vertical temperatures in the oyamel forest. *Journal of the Lepidopterists' Society*, (65):1, 27-46.
6. CARLYLE-MOSES, D.E. AND PRICE, A.G. 2003. Measurement and modelling of growing-season canopy water fluxes in a mature mixed deciduous forest stand, southern Ontario, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* (119) 69-85.
7. CHELLE, M. AND CELLIER, P. 2009. Horizontal variability in air temperature over time within a maize inter-row. *Agricultural and Forest Meteorology*, (149) 1294-1300.
8. CUTZ-POOL, L. Q., CASTAÑO-MENESES, G., PALACIOS-VARGAS, J. G., CANO-SANTANA, Z., 2010. Distribución vertical de colémbolos muscícolas en un bosque de *Abies religiosa* del Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (81) 457- 463.
9. DE MIRANDA, R.A., MILDE, L.C.E., BICHARA, A.L., CORNELL, S. 1994. Daily characterisation of air temperature and relative humidity profiles in a cocoa plantation. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, (29):3 ,345-353.
- 10.FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Rome, Italia.

- 11.FROELICH, N.J., GRIMMOND, C.S.B., SCHMID, H.P. 2011. Nocturnal cooling below a forest canopy: Model and evaluation. *Agricultural and Forest Meteorology* (151) 957-968.
- 12.GÓMEZ-TAGLE CH., A., GÓMEZ-TAGLE R., A. F.; ÁVILA O., J. A., BRUIJZEEL, L. A. (en revisión). Partición de la precipitación en un bosque tropical montañoso de pino-encino en el centro de México (sometido Bosque).
- 13.GÓMEZ-TAGLE CH., ALBERTO. 2008. Variabilidad de las Propiedades Edáficas Relacionadas con la Infiltración y Conductividad Hidráulica Superficial en la Cuenca de Cuitzeo. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- 14.GÓMEZ-TAGLE CH. A, RAMIREZ M, L.F., LICEA, E. 2013. Sistema automático Termologger V B0.1. Estancia de Investigación Verano Nicolaita, UMSNH.
- 15.HASINGS, C., MOSTELLER, F., TUKEY, J. W., WINSOR, C.P. 1947.Low moments for small samples: a comparative study of order statistics. *Annals of Mathematical Statistics*, (18) 413-426.
- 16.HOLDEN, Z.A., KLENE, A.E., KEEFE, R.F., MOISEN, G.G. 2013. Design and evaluation of an inexpensive radiation shield for monitoring surface air temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*, (180) 281– 286.
- 17.INEGI. 1978d. Carta Geológica E14A23, Morelia. in. INEGI, Dirección General de Geografía, Aguascalientes, Ags., México.
- 18.KOMATSU, H., KUMAGAI, T., HOTTA, N., 2007. Effects of vertical air temperature distribution within forest canopies on photosynthesis and transpiration. *Bull.KyushuUniv.For.* (88), 1-19.
- 19.LAI C., KATUL G., ELLSWORTH, D. AND OREN, R. 2000a. Modelling vegetation atmosphere CO₂ exchange by a coupled Eulerian Lagrangian approach. *Bound. Layer Meteorol.* (95), 91-122.
- 20.LAI C.T., KATUL G.G., OREN R., ELLSWORTH D., AND SCHAFER K. 2000b Modeling CO₂ and water vapor turbulent flux distributions within a forest canopy. *J. Geophys. Res.* (102), 26333-26351.
- 21.MEDINA O., L.E. Y CABRERA G., A. 2011. Revisión del mapa de suelos de la Cuenca del Lago de Cuitzeo Michoacán, México. Laboratorio de Edafología de la Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. 101 pp.

- 22.MEDRANO, S. 2003. Medición de la Humedad Relativa con Psicrómetro: La Guía MetAs, año 03, n.09, 2e. Consultado el 05 de Abril de 2014 en la WWW: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-09.pdf>
- 23.PROCTOR, M.C.F. 1982. Physiological ecology: water relations, light and temperature responses, carbon balance. In: Smith, A.J.E. (Ed.), Bryophyte Ecology. Chapman and Hall, London. 333-381.
- 24.RAMBO, T.R., NORTH, M.P. 2009 Canopy microclimate response to pattern and density of thinning in a Sierra Nevada forest. Forest Ecology and Management (257) 435-442.
- 25.RAYNOR, G.S., 1971. Wind and temperature structure in a coniferous forest and a contiguous field. For. Sci. (3) 351-363.
- 26.ROBERTS, J., WALLACE, J. S., PITMAN, R. M. 1984. Factors affecting stomatal conductance of bracken below a forest canopy. Journal of Applied Ecology (21) 643-655.
- 27.SALAZAR, C.H. 2010. Estudio microclimático de un bosque natural de asociación pino-roble en el Municipio de La Reina, Departamento de Chalatenango. Ministerio de medio ambiente y recursos naturales, Gobierno de El Salvador. 33 pp.
- 28.SHUTTLEWORTH, W. J., GASH, J. H. C., LLOYD, C. J., MOORE, C. J., ROBERTS, J., MARQUES FILHO, A. O., FISH, G., SILVA FILHO, V. P., RIBEIRO, M. N. G., MOLION, L. C. B., SÁ, L. D. A. DE; NOBRE, CABRAL, O. M. R., PATEL, S. R., MORAES, J. C. 1985. Daily variations of the temperature and humidity within and above Amazonian forest. Weather (40):4, 102-108.
- 29.SYPKA, P., STARZAK, R. 2013. Simplified, empirical model of wind speed profile under canopy of lstebna spruce stand in mountain valley. Agricultural and Forest Meteorology. (171–172) 220–233.
- 30.TUKEY, J. W. 1949. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. Biometrics (5):2, 99-114.

12. ANEXOS

Índice de Anexos

ANEXO A.....	42
Código datalogger optimizado para la vida de la batería.	42
ANEXO B.	48
Funciones	48
1. Calculadora de la de presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado.	48
2. Calculadora de la Humedad Relativa por método de Ferrel.	48
3. Llenado lineal de huecos.	48
4. Calculadora de oscilaciones.	49
Calibración del sistema perfilador termo hidrométrico para la temperatura del aire...	50
Calibración del sistema perfilador termo hidrométrico para la humedad relativa	52
Procesamiento, análisis y graficas de datos.	55

ANEXO A.

```
*****
* Código datalogger optimizado para la vida de la batería.*
*****/

// SdFat from https://sdfatlib.googlecode.com/files/sdfatlib20111205.zip

// Libraries
#include <SdFat.h>
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/wdt.h>

// Data wire is plugged into port 2 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 7
#define TEMPERATURE_PRECISION 12

//-----

// PARAMETERS

// timing
const int StepTime = 30; // seconds between logs.
const int TimingTolerance = 6; // Higher number gives
lower timing accuracy, but slightly better energy efficiency (since the system does not need to wake up
as often to check the time)
const boolean UseExternalAref = false; // Use external Aref pin
for analog to digital conversion

const int controlPin = 8; // Number of pin that
disconnect the instrumentation circuitry

// debug
const boolean DataToSerial = true; // Print data to serial
port?
const int BaudRate = 9600; // Baud rate for serial
communications
//-----

// Set and clear bit definitions (used to set sleep register values)
#ifndef cbi
#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#endif
#ifndef sbi
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))
#endif

// Setup a onewire instance to communicate with any onewire devices (not just Maxim/Dallas temperature
ICs)
OneWire onewire(ONE_WIRE_BUS);
// Pass our onewire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&onewire);

// arrays to hold device addresses
DeviceAddress T0= {0x28, 0x79, 0x5B, 0x4C, 0x03, 0x00, 0x00, 0xE3};
DeviceAddress T1_s= {0x28, 0xAC, 0x99, 0xFF, 0x03, 0x00, 0x00, 0x74}; //17m
DeviceAddress T1_h= {0x28, 0x73, 0x9D, 0xFF, 0x03, 0x00, 0x00, 0x8B}; //18m
DeviceAddress T2_s= {0x28, 0x43, 0xA9, 0xFF, 0x03, 0x00, 0x00, 0xFD}; //12m
DeviceAddress T2_h= {0x28, 0xB6, 0x9E, 0xFF, 0x03, 0x00, 0x00, 0xB1}; //11m
DeviceAddress T3_s= {0x28, 0xCF, 0xD3, 0xFF, 0x03, 0x00, 0x00, 0xBA}; //12m
DeviceAddress T3_h= {0x28, 0xC9, 0xA0, 0xFF, 0x03, 0x00, 0x00, 0x2B}; //16.8m
DeviceAddress T4_s= {0x28, 0x5B, 0x74, 0x4C, 0x03, 0x00, 0x00, 0xAC}; //19m
DeviceAddress T4_h= {0x28, 0xF6, 0x93, 0x4C, 0x03, 0x00, 0x00, 0x31}; //19m

// Variables
RTC_DS1307 RTC;
Sd2Card card;
SdVolume volume;
SdFile root;
SdFile file;
DateTime now;
uint32_t NextTime;
uint32_t NowTime;
uint32_t RemainingTime;
int SleepTimeIndex;
float SleepTime;
```

```
volatile boolean f_wdt=1;

/*****/
/* SETUP */
/*****/
void setup(void)
{
  //Serial
  Serial.begin(BaudRate); // Start serial port
  // Start up the library
  sensors.begin();
  // counts found devices
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.println("Locating devices...");
  Serial.print("Found ");
  Serial.println(sensors.getDeviceCount(), DEC);

  // locate devices on the bus
  //if (!sensors.getAddress(T11_h, 0)) Serial.println("Unable to find address for Device 0");
  //if (!sensors.getAddress(T12_s, 1)) Serial.println("Unable to find address for Device 1");
  //if (!sensors.getAddress(T12_h, 2)) Serial.println("Unable to find address for Device 2");

  //if (!onewire.search(T11_h)) Serial.println("Unable to find address for T11_h");
  // assigns the seconds address found to T2
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T12_s)) Serial.println("Unable to find address for T12_s");
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T12_h)) Serial.println("Unable to find address for T12_h");
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T17_s)) Serial.println("Unable to find address for T17_s");
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T17_h)) Serial.println("Unable to find address for T17_h");
  //if (!onewire.search(T18_s)) Serial.println("Unable to find address for T18_s");
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T18_h)) Serial.println("Unable to find address for T18_h");
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T19_s)) Serial.println("Unable to find address for T19_s");
  //delay(5);
  //if (!onewire.search(T19_h)) Serial.println("Unable to find address for T19_h");

  // set the resolution to 9 bit
  sensors.setResolution(T1_h, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T1_s, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T2_h, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T2_s, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T3_h, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T3_s, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T4_h, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T4_s, TEMPERATURE_PRECISION);
  sensors.setResolution(T0, TEMPERATURE_PRECISION);
  // SD card
  SdCardSetup();
  // Sleep mode
  cbi( SMCR,SE ); // sleep enable, power down mode
  cbi( SMCR,SM0 ); // power down mode
  sbi( SMCR,SM1 ); // power down mode
  cbi( SMCR,SM2 ); // power down mode
  set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN); // sleep mode is set here

  // Times
  //RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); // Establece la fecha y hora
  now = RTC.now();
  NowTime = now.unixtime();
  NextTime = NowTime + 1;
}

/*****/
/* LOOP */
/*****/
void loop()
{
  now = RTC.now();
  NowTime = now.unixtime();

  if (NextTime > NowTime)
  {
    RemainingTime = NextTime - NowTime;
    SleepTimeIndex = GetSleepTimeIndex(RemainingTime);
    SetupWatchdog(SleepTimeIndex);
    GoToSleep();
  }
  else
  {
    LogValues(NowTime);
    NextTime = NextTime + StepTime;
  }
}
```

```

}

//////////
// Error //
//////////
void error(char *str)
{
while(1);
}

//////////
// SdCardSetup //
//////////
void SdCardSetup()
{
Serial.print("Initializing SD card...");// initialize the SD card
pinMode(10, OUTPUT);// make sure that the default chip select pin is set to output, even if you don't
use it:
// see if the card is present and can be initialized:
if (!card.init()) error("card.init"); // Initialize the SD card
if (!volume.init(card)) error("volume.init"); // Initialize a FAT volume
if (!root.openRoot(volume)) error("openRoot"); // Open root directory
Serial.println("card initialized.");
// Create a new file on SD card
char filename[] = "LOG000.CSV";
for (int i = 0; i < 1000; i++)
{
filename[3] = i/100 + '0';
filename[4] = (i%100)/10 + '0';
filename[5] = (i%100)%10 + '0';
// only open a new file if it doesn't exist
if (file.open(root, filename, O_CREAT | O_EXCL | O_WRITE)) break;
}
if (!file.isOpen())
{
error ("file.create");
return;
}
// RTC setup
Wire.begin();
if (!RTC.begin())
{
file.println("RTC failed");
Serial.println("RTC failed");
}

// write header
file.writeError = 0;
file.println("Termologger v 1.0 INIRENA-UMSNH");
file.println("Design & programming A.Gomez-Tagle (Jr) & Luis Felipe Ramirez Mejia & Daniel Ruiz");

file.print("Date/time");
file.print(",");
file.println(" T0,T1_s,T1_h,T2_s,T2_h,T3_s,T3_h,T4_s,T4_h");
// Attempt to write out the header to the file
if (file.writeError || !file.sync()) error("write header");

if (DataToSerial)
{
delay(100);
Serial.println("Termologger v 1.0 INIRENA-UMSNH");
delay(100);
Serial.print("Date/time");
delay(100);
Serial.println(" T0,T1_s,T1_h,T2_s,T2_h,T3_s,T3_h,T4_s,T4_h");
delay(100);
}
}

//////////
// LogValues //
//////////
void LogValues(uint32_t Time)
{
//////////
pinMode(controlPin, OUTPUT); // controlPin pin as output
digitalWrite(controlPin, HIGH); // Turns on the LDO
delay (25); // Creates a delay with the relay on
// this allows the MPX2010DP to warm up
// the sensore requires a 20ms, so
// 25ms allows perfect warm up.
//////////

float Temps[9];
// call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
// request to all devices on the bus
sensors.requestTemperatures();
Temps[0] = sensors.getTempC(T0);
Temps[1] = sensors.getTempC(T1_s);

```

```
Temps[2] = sensors.getTempC(T1_h);
Temps[3] = sensors.getTempC(T2_s);
Temps[4] = sensors.getTempC(T2_h);
Temps[5] = sensors.getTempC(T3_s);
Temps[6] = sensors.getTempC(T3_h);
Temps[7] = sensors.getTempC(T4_s);
Temps[8] = sensors.getTempC(T4_h);
// Log time to file
// clear print error
file.writeError = 0;
file.print("");
file.print(now.year(), DEC);file.print("/");
file.print(now.month(), DEC);file.print("/");
file.print(now.day(), DEC);file.print(" ");
file.print(now.hour(), DEC);file.print(":");
file.print(now.minute(), DEC);file.print(":");
file.print(now.second(), DEC);file.print("");
file.print(",");
file.print(Temps[0]);
file.print(",");
file.print(Temps[1]);
file.print(",");
file.print(Temps[2]);
file.print(",");
file.print(Temps[3]);
file.print(",");
file.print(Temps[4]);
file.print(",");
file.print(Temps[5]);
file.print(",");
file.print(Temps[6]);
file.print(",");
file.print(Temps[7]);
file.print(",");
file.print(Temps[8]);
file.println();
digitalWrite(controlPin, LOW); // Returns to low value, LDO off
// Attempt to write out the header to the file
if (file.writeError || !file.sync()) error("write data");

// Log time to serial
if(DataToSerial)
{
  Serial.println();
  Serial.print(now.year(), DEC);Serial.print("/");
  delay(10);
  Serial.print(now.month(), DEC);Serial.print("/");
  delay(10);
  Serial.print(now.day(), DEC);Serial.print(" ");
  delay(10);
  Serial.print(now.hour(), DEC);Serial.print(":");
  delay(10);
  Serial.print(now.minute(), DEC);Serial.print(":");
  delay(10);
  Serial.print(now.second(), DEC);

  // Log values to serial
  Serial.println();
  Serial.print(Temps[0]); delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print(Temps[1]); delay(10);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temps[2]); delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print(Temps[3]); delay(10);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temps[4]); delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print(Temps[5]); delay(10);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temps[6]); delay(10);
  Serial.println();
  Serial.print(Temps[7]); delay(15);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temps[8]); delay(10);
  Serial.println();
  Serial.println();
}
}

//////////
// GoToSleep //
//////////
// set system into the sleep state
// system wakes up when watchdog is timed out
void GoToSleep()
{
```

```
cbi(ADCSRA,ADEN);          // switch Analog to Digitalconverter OFF
sleep_enable();
sleep_mode();              // System sleeps here
sleep_disable();           // System continues execution here when watchdog timed out
sbi(ADCSRA,ADEN);          // switch Analog to Digitalconverter ON
}

////////////////////
// Setupwatchdog //
////////////////////
void Setupwatchdog(int SleepTimeIndex)
{
byte bb;
int ww;
if (SleepTimeIndex > 9 ) SleepTimeIndex=9;
bb=SleepTimeIndex & 7;
if (SleepTimeIndex > 7) bb|= (1<<5);
bb|= (1<<WDCE);
ww=bb;
MCUSR &= ~(1<<WDRF);
// start timed sequence
WDTCR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE);
// set new watchdog timeout value
WDTCR = bb;
WDTCR |= _BV(WDIE);
}

////////////////
// ISR //
////////////////
// Watchdog Interrupt Service: executed when watchdog timed out
ISR(WDT_vect)
{
f_wdt=1; // set global flag
}

////////////////////
// GetSleepTimeIndex //
////////////////////
int GetSleepTimeIndex(uint32_t TargetTime)
{
// Sets the SleepTimeIndex to go to sleep for as long as possible without sleeping too long
int SleepTimeIndex;

if (TargetTime > 8)
{
SleepTimeIndex = 9;
}
else if (TargetTime > 4)
{
SleepTimeIndex = 8;
}
else if (TargetTime > 2)
{
SleepTimeIndex = 7;
}
else if (TargetTime > 1)
{
SleepTimeIndex = 6;
}
else
{
SleepTimeIndex = TimingTolerance;
}

return SleepTimeIndex;
}

////////////////////
// GetSleepTime //
////////////////////
float GetSleepTime(int SleepTimeIndex)
{
float SleepTimes[] = {0.015, 0.030, 0.060, 0.120, 0.250, 0.500, 1, 2, 4, 8};
float SleepTime;

SleepTime = SleepTimes[SleepTimeIndex];

return SleepTime;
}

////////////////////
// PRINT DEVICE ADDRESSE //
////////////////////
// function to print a device address
void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)
{
for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
```



```
{  
// zero pad the address if necessary  
if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");  
Serial.print(deviceAddress[i], HEX);  
}  
Serial.println();  
}
```

ANEXO B.

*Todo el código anexoado en esta sección fue escrito en el lenguaje de programación R v 3.1.1 (The R Foundation for Statistical Computing, 2012).

```
#####
#           Funciones           #
#                               #
# Mayo-2014                     #
#####

#1.Cálculadora de la de presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado.
#####

E<-function(T){
  #Cálcula la de presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado.
  #Parametros:(T)en Kelvin.

  # Constantes
  A<- 1.2378847*10^-5
  B<- -1.9121316*10^-2
  C<- 33.93711047
  D<- -6.3431645*10^3

  E<-exp(A*T^2+B*T+C+D/T)          #Presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado, en
  Pa, a la                          #temperatura de bulbo seco.
  return(E)

} #End Function
#####

#2.Cálculadora de la Humedad Relativa por método de Ferrel.
#####

HR.ferrel<-function(Ts,Th,p){
  #Calcula la Humedad Relativa por método de Ferrel.
  #Parametros:(Ts= t°C.bulboseco, Th= t°C.bulbohumedo,p= presión Pa).
  Ts<-Ts+273.15   #°C a K
  Th<-Th+273.15   #°C a K

  #Constantes
  psi<- 4.53*10^-4
  fi<- 7.59*10^-7

  e<- E(Th)-p *(Ts-Th)*(psi+fi*Th)          #Presión parcial real del vapor de agua en aire húmedo,
  en Pa.

  return(e/E(Ts)*100)                      #Regresa Humedad Relativa en %.

} # End Function
#####

#3.Llenado lineal de huecos.
#####

no.gaps<-function(x){
  #Devuelve vector sin huecos.Parámetros:(vector numérico).

  #Constantes
  LIM<-5                                #Indica el límite de tamaño de gaps que se rellenan.
  Linf<-0                               #Valor no válido,límite inferior.
  Lsup<-80                              #Valor no válido,límite superior.

  sc<-which(x<=Linf | x>=Lsup)           #Sustituye valores no válidos por NAs.
  x[sc]<-NA

  s <- 1                                #Contador de num. de gaps.
  for (i in 2:length(x)){

    ## Gap start
    if (is.na(x[i])==TRUE & is.na(x[i-1]) == FALSE){
      inicio <- i
      #print(paste("Gap:",s))
      #print(paste("inicio=", inicio, sep=" "))
    } #If end

    ## Gap.end
    if (is.na(x[i])==TRUE & is.na(x[i+1]) == FALSE){
      fin <- i
      #print(paste("fin=", fin, sep=" "))
      s <- s+1
      start <- inicio-1
      end <- fin +1
      #print(x[start:end])

      if(length(x[inicio:fin])<LIM){          #Si el gap es menor que LIM, se rellena.
                                                #De lo contrario, se deja como NAs.
        ## Gap-Filling
        modelo <- lm(x[c(start,end)] ~ c(start,end) )
        indep <- seq(start,end,1)
      }
    }
  }
}
```

```

x.pred <- coef(modelo)[2]* indep + coef(modelo)[1]
#print(x.pred)
x[start:end] <- x.pred
}
} #If end

} #For end
return(x)
} #End Function
#####

#4.Cálculadora de oscilaciones.
#####

oscilacion<-function(dataframe){
  #Devuelve un dataframe con los valores de oscilación día/noche.
  #Parámetros:(dataframe con columna Date.time).

#dataframe<-pino_abril
DATOSxdia<-24*60/10 * 0.8      #num. de registros x día, cada 10 minutos,
                              #considerados 80% de los datos.

dataframe<-data.frame(dataframe,stringsAsFactors=F)
dataframe$Posix<-as.character(dataframe$Posix)

dataframe$Dia<-as.numeric(substr(dataframe$Posix,9,10))
dataframe$Mes<-as.numeric(substr(dataframe$Posix,6,7))
dataframe$Hora<-as.numeric(substr(dataframe$Posix,12,13))

sc<-which(dataframe$Hora>6 & dataframe$Hora<21)
dataframe$Id<-rep(NA,length(dataframe$Hora))
dataframe$Id[sc]<-1           #Id para identificar el
                              #período diurno.

dataframe$Id[-sc]<-0          #Id para identificar el
                              #período nocturno.

dif<-NULL;                   #Declara la variable Tmax y
                              #Tmin.

for(i in range(dataframe$Mes,na.rm=T)[1]:range(dataframe$Mes,na.rm=T)[2]){
  for(j in 1:31){
    diaria<-subset(dataframe,Mes==i & Dia==j,select=c(-Posix,-Date.time,-Hora))

    #Crea un subset con los
    #registros que cumplan
    con la #condición del Mes
    j y Día i.

    if (length(diaria$Dia)<DATOSxdia) next

    #Si la longitud del
    subset es #menor a
    DATOSxdia, lo desecha.

    else{
      max<-data.frame(apply(diaria,2,tapply,diaria$Id,max))
      min<-data.frame(apply(diaria,2,tapply,diaria$Id,min))
      tempdif<-max-min
      tempdif$Dia<-max$Dia
      tempdif$Mes<-max$Mes
      tempdif$Id<-max$Id

      dif<-rbind(dif,tempdif)
    }
  }
}
return(dif)

#Devuelve un dataframe
con las #oscilaciones
diurnas y #nocturnas para
cada #columna #del
dataframe.

}# End Function
#####

```

```
#####
###
### Calibración del sistema perfilador termo hidrométrico con estación ###
### Meteorológica del INIRENA para la temperatura del aire. ###
###
###
###10 Mayo 2014
###Daniel Ruiz L.
###
###
#####

#####
##Directorio de trabajo y lectura de datos.##
#####
setwd("/home/dahrule/Dropbox/Dahrule/R/baseDatos")
source("/home/dahrule/Dropbox/Dahrule/R/Funciones.R")

meteo<- read.csv("calibracion-estmeteo-19032014.csv",
skip=3,header=TRUE,stringsAsFactors=F)
datlog<-read.csv("calibracion-datlog-19032014.csv",
skip=2,header=TRUE,stringsAsFactors=F)

#####
##Convertir Fechas a tipo POSIXct.##
#####
datlog$POSIX<-as.POSIXct(datlog$Datetime,format="%d/%m/%Y %H:%M")
meteo$POSIX<-as.POSIXct(meteo$Datetime,format="%d/%m/%Y %H:%M")

#####
##Selección de subconjuntos scd (termohidrometro) para ajustar de 30seg a 10min-#
## y scm para coincidir fechas del termohidrometro con est.meteo INIRENA. #
#####
scd<-seq(from=1, to=length(datlog$Datetime),by=20)

range(datlog$Datetime[scd])
range(meteo$Datetime)
head(datlog$Datetime[scd])
head(meteo$Datetime)
tail(meteo$Datetime)

init<-which(meteo$Datetime=="13/03/2014 16:40")
fin<-which(meteo$Datetime=="19/03/2014 10:40")
scm<-seq(from=init,to=fin)

length(scd)==length(scm)

#####
#GRÁFICA CALIBRACIÓN TEMPERATURA #
#####
##GRAFICOS: modelos lineales ##
def.par <- par(no.readonly = TRUE) #save default, for resetting.

mat<-matrix(c(5,5,1,2,3,4),3,2,byrow=TRUE) #matriz para dividir pantalla.
nf <- layout(mat,widths=c(1,1,.5,.5,.5), #dimensiones puntos matriz en pantalla.
heights=c(1.5,1,1,1,1)) #mostrar pantalla dividida.
layout.show(nf) #márgenes externos.
par(oma=c(6,2,0,1.5)) #márgenes internos.
par(mar=c(0,4,6,0))

names<-colnames(datlog[c(3,5,7,9)])
#Guarda únicamente nombres de columnas para bulbos secos.

for(i in c(1,2,3,4)){

print(names[i])
m1<-lm(meteo$Tempair_Avg[scm]~datlog[scd,names[i]])

y<-coef(m1)[2]*seq(0,35)+coef(m1)[1]
remc<-sqrt(mean(resid(m1)^2))
dy<-range(y)[2]-range(y)[1]
ep<-remc*100/dy

print(summary(m1)[8]);print("remc");print(remc);print("ep");print(ep)
print(coef(m1))
plot(datlog[scd,names[i]],meteo$Tempair_Avg[scm],main=c("SENSOR
TEMPERATURA",i),xlab="",ylab="",line=0.8) ##Diagrama dispersión.
points(seq(0,35),y,type="l",col=2,lwd=2)
text(c(10,12.5),c(25,25),c("remc", round(remc,2)))
text(c(9.65,12.5,13.5),c(23,23,23),c("ep",round(ep,2),"%"))
text(c(9.7,12.5),c(21,21),c(expression(r^2),round(summary(m1)[[8]],2)))
text(c(9.7,12.5),c(19,19),c("N",length(datlog[scd,"T1_s"])))
text(c(25,26.2,28,29.5),c(14,14,14,14),c("y= ",round(coef(m1)[2],2)," * x +
",round(coef(m1)[1],2)))
}

#####
##Corrección por calibración##
```

```
#####
T<-list("T1"=NULL,"T2"=NULL,"T3"=NULL,"T4"=NULL)
for(i in 1:4){
  colnames.s<-c("T1_s","T2_s","T3_s","T4_s")
  coef.m<-c(0.94,0.91,0.85,0.92)
  coef.a<-c(0.61,0.69,1.85,0.82)

  T[[i]]<-coef.m[i]*datlog[scd,colnames.s[i]]+coef.a[i]
}

#####
###GRÁFICO: corrección por calibración###
#####
plot(meteo$Tempair_Avg[scm]~meteo$POSIX[scm],type="p",pch=20,col="black",
#SERIE TIEMPO: Temperatura estación vs. Temperaturas datalogger.
ylim=c(-35,40),xlab="",ylab="Temperatura del aire (°C)",yaxt="n",cex.lab=1.2)
axis(2,at=c(-25,-20,-15,-10,-5,0,5,10,15,20,25,30),
labels=c("5","10","15","20","25","30/0","5","10","15","20","25","30"))
points(datlog$T1_s[scd]~datlog$POSIX[scd],type="l",col="blue")
points(datlog$T2_s[scd]~datlog$POSIX[scd],type="l",col="green")
points(datlog$T3_s[scd]~datlog$POSIX[scd],type="l",col="orange")
points(datlog$T4_s[scd]~datlog$POSIX[scd],type="l",col="red")
grid(col=4)
points(meteo$Tempair_Avg[scm]-30~meteo$POSIX[scm],type="p",pch=20,col="black", #SERIE TIEMPO:
Temperatura estación vs. Temperaturas datalogger.
ylim=c(5,30),xlab="",ylab="T (°C)")
points(T[[1]]-30~datlog$POSIX[scd],type="l",col="blue")
points(T[[2]]-30~datlog$POSIX[scd],type="l",col="green")
points(T[[3]]-30~datlog$POSIX[scd],type="l",col="orange")
points(T[[4]]-30~datlog$POSIX[scd],type="l",col="red")

legend("right",inset=.1,legend=c("Estación","T1","T2","T3","T4"),lty=c(0,1,1,1,1),pch=c(1,-1,-1,-1,-1),
lwd=2,seg.len=1,col=c("black","blue","green","orange","red"),horiz=TRUE,bty="n")
#,x.intersp=.5,y.intersp=.1) bty="n")
mtext(side=3,line=-1.3,"Sin Corrección")
mtext(side=1,line=-1,"Con Corrección")
abline(h=0)

mtext("Temperatura del aire (°C) PTHM", side = 1, line = 3.5, outer = TRUE,cex=0.8)
mtext("Temperatura del aire (°C) INIRENA", side = 2, line = -0.5,
cex=0.8,outer=TRUE,at=0.23)

#####
###Título general###
#####
title("Calibración del perfilador termohidrométrico (PTHM) para la temperatura del aire
(T)",cex.main=1.6)
#####
```

```
#####
###
### Calibración del sistema perfilador termohidrométrico con estación meteorológica del INIRENA para la humedad relativa.
###
###
###10 Mayo 2014
###Daniel Ruiz L.
###
###
#####
#####
##Cargar bases de datos ##
#####
setwd("/home/dahrule/Dropbox/Dahrule/R/baseDatos")
source("/home/dahrule/Dropbox/Dahrule/R/Funciones.R")

#Estación meteo INIRENA
meteo<- read.csv("calibracion-estmeteo-19032014.csv",
skip=3,header=TRUE,stringsAsFactors=F)
datlog<-read.csv("calibracion-datlog-19032014.csv",
skip=2,header=TRUE,stringsAsFactors=F)
#####
##Convertir Fechas a tipo POSIXct, para est. INIRENA##
#####
datlog$POSIX<-as.POSIXct(datlog$Datetime,format="%d/%m/%Y %H:%M")
meteo$POSIX<-as.POSIXct(meteo$Datetime,format="%d/%m/%Y %H:%M")

#####
##Selección de subconjuntos datalogger "scd" para ajustar de 30seg a 10min-
##y subconjunto est.meteo "scm" para coincidir fechas datalogger con est.meteo
##INIRENA
#####
scd<-seq(from=1, to=length(datlog$Datetime),by=20)
init<-which(meteo$Datetime=="13/03/2014 16:40")
fin<-which(meteo$Datetime=="19/03/2014 10:40")
scm<-seq(from=init,to=fin)
length(scd)==length(scm)
#####
###Relleno de valores inválidos para bulbos humedos(funcion no.gaps()).###
#####
for (i in 2:10){
  datlog[scd,i]<-no.gaps(datlog[scd,i])
}

#####
###subconjunto de bulbohumedo sin secar.Coincidir longitud vectores#
### para datalogger y est.meteo. #
#####
dhum<-scd[1:540]
mhum<-scm[1:540]

#####
##Cálculo humedad relativa (método ferrel)##
#####
p<- meteo$Presion_Avg[mhum]*100
meteoHR<-meteo$humrel_Avg[mhum] #HR de estación referencia.
HR1<- HR.ferrel(datlog$T1_s[dhum],datlog$T1_h[dhum],p)
HR2<- HR.ferrel(datlog$T2_s[dhum],datlog$T2_h[dhum],p)
HR3<- HR.ferrel(datlog$T3_s[dhum],datlog$T3_h[dhum],p)

#####
##GRAFICA CALIBRACION HR ##
#####
par(mfrow=c(4,2),oma=c(3,11,6,0))
par(mar=c(2,2,0.5,4))

###PSICOMETRO 1###
modexp<-nls(meteoHR~(a*HR1^2)+(b*HR1)+k,start=list(a=-0.5,b=0.5,k=0.5))
a<- coef(modexp)[1]
b<- coef(modexp)[2]
k<- coef(modexp)[3]

HRd<-seq(1,100,1)
HRpr<- (a*HRd^2)+(b*HRd)+k

#####
#Gráfico: dispersión con modelo ajustado#
#####
plot(HR1,meteoHR,xlim=c(0,100),ylim=c(0,100),xlab="Humedad relativa (%) PTHM",ylab=c("Humedad relativa (%) E.M. INIRENA"))
points(HRd, HRpr,type="l",col="red",lwd=2)

x<-seq(0,100)
y<-(a*x^2)+(b*x)+k
remc<-sqrt(mean(resid(modexp)^2))
dy<-range(y)[2]-range(y)[1]
ep<-remc*100/dy
r2 <- sum((fitted(modexp)- mean(meteoHR))^2) / sum((meteoHR-mean(meteoHR))^2)
```

```

print("remc");print(remc);print("ep");print(ep);print("r^2");print(r2)
print(coef(modexp))

###etiquetas interiores###
text(c(5,15),c(90,90),c("remc", round(remc,2)))
text(c(5,15,20),c(75,75,75),c("ep",round(ep,2),"%"))
text(c(5,15),c(55,55),c(expression(r^2),round(r2,2)))
text(c(5,15),c(35,35),c("N",length(HR1)))
text(90,25,paste("y=",round(a,3),"*x^2+",round(b,2),"*x+",round(k,2)))

###etiqueta exterior###
mtext("PSICOMETRO 1:", side = 2, line = 5,las=1,cex=0.7,font=3)

###Gráfico: corrección###
plot(meteoHR~meteo$POSIX[mhum],type="l",ylim=c(0,100),ylab="Humedad Relativa (%)",xlab="",
lwd=2)
points(HR1~dat$log$POSIX[dhum],type="l",col=2,lwd=1.5)
points((a*HR1^2)+(b*HR1)+k~dat$log$POSIX[dhum],type="l",col=3,lwd=1.5)
legend("topleft",legend=c("INIRENA","Psicómetro sin corrección","Psicómetro corregido"),lty=c(1,1,1),
lwd=2,col=c(1,2,3),cex=0.8,bty="n",seg.len=0.7,x.intersp=0.5,y.intersp=0.8)

###PSICOMETRO 2###
modexp<-nls(meteoHR~(a*HR2^2)+(b*HR2)+k,start=list(a=-0.5,b=0.5,k=0.5))
a<- coef(modexp)[1]
b<- coef(modexp)[2]
k<- coef(modexp)[3]

HRd<-seq(1,100,1)
HRpr<- (a*HRd^2)+(b*HRd)+k
plot(HR2,meteoHR,xlim=c(0,100),ylim=c(0,100),xlab="Humedad relativa (%) PTHM",ylab=c("Humedad relativa
(%) E.M. INIRENA"))
points(HRd, HRpr,type="l",col="red")

x<-seq(0,100)
y<-(a*x^2)+(b*x)+k
remc<-sqrt(mean(resid(modexp)^2))
dy<-range(y)[2]-range(y)[1]
ep<-remc*100/dy
r2 <- sum((fitted(modexp)- mean(meteoHR))^2) / sum((meteoHR-mean(meteoHR))^2)
print("remc");print(remc);print("ep");print(ep);print("r^2");print(r2)
print(coef(modexp))

text(c(5,15),c(90,90),c("remc", round(remc,2)))
text(c(5,15,20),c(75,75,75),c("ep",round(ep,2),"%"))
text(c(5,15),c(55,55),c(expression(r^2),round(r2,2)))
text(c(5,15),c(35,35),c("N",length(HR1)))
text(90,25,paste("y=",round(a,3),"*x^2+",round(b,2),"*x+",round(k,2)))

mtext("PSICOMETRO 2:", side = 2, line = 5,las=1,cex=0.7,font=3)

plot(meteoHR~meteo$POSIX[mhum],type="l",ylim=c(0,100),ylab="Humedad Relativa (%)",xlab="",
lwd=2)
points(HR2~dat$log$POSIX[dhum],type="l",col=2,lwd=1.5)
points((a*HR2^2)+(b*HR2)+k~dat$log$POSIX[dhum],type="l",col=3,lwd=1.5)

###PSICOMETRO 3###
modexp<-nls(meteoHR~(a*HR3^2)+(b*HR3)+k,start=list(a=-0.5,b=0.5,k=0.5))
a<- coef(modexp)[1]
b<- coef(modexp)[2]
k<- coef(modexp)[3]

HRd<-seq(1,100,1)
HRpr<- (a*HRd^2)+(b*HRd)+k
plot(HR3,meteoHR,xlim=c(0,100),ylim=c(0,100),xlab="Humedad relativa (%) PTHM",ylab=c("Humedad relativa
(%) E.M. INIRENA"))
points(HRd, HRpr,type="l",col="red")

x<-seq(0,100)
y<-(a*x^2)+(b*x)+k
remc<-sqrt(mean(resid(modexp)^2))
dy<-range(y)[2]-range(y)[1]
ep<-remc*100/dy
r2 <- sum((fitted(modexp)- mean(meteoHR))^2) / sum((meteoHR-mean(meteoHR))^2)
print("remc");print(remc);print("ep");print(ep);print("r^2");print(r2)
print(coef(modexp))

text(c(5,15),c(90,90),c("remc", round(remc,2)))
text(c(5,15,20),c(75,75,75),c("ep",round(ep,2),"%"))
text(c(5,15),c(55,55),c(expression(r^2),round(r2,2)))
text(c(5,15),c(35,35),c("N",length(HR1)))
text(90,25,paste("y=",round(a,3),"*x^2+",round(b,2),"*x+",round(k,2)))

mtext("PSICOMETRO 3:", side = 2, line = 5,las=1,cex=0.7,font=3)

plot(meteoHR~meteo$POSIX[mhum],type="l",ylim=c(0,100),ylab="Humedad Relativa (%)",xlab="",
lwd=2)
points(HR3~dat$log$POSIX[dhum],type="l",col=2,lwd=1.5)

```



```

points((a*HR3^2)+(b*HR3)+k~datlog$POSIX[dhum],type="l",col=3,lwd=1.5)

####PSICOMETRO 4####
#sobre escribe variables dhum y mhum para calcular HR4#
dhum<-scd[c(1:94,157:427)]
mhum<-scm[c(1:94,157:427)]

p<- meteo$Presion_Avg[mhum]*100
meteoHR<-meteo$humrel_Avg[mhum] #HR de estacion referencia.
HR4<- HR.ferrel(datlog$T4_s[dhum],datlog$T4_h[dhum],p)

modexp<-nls(meteoHR~(a*HR4^2)+(b*HR4)+k,start=list(a=-0.5,b=0.5,k=0.5))
a<- coef(modexp)[1]
b<- coef(modexp)[2]
k<- coef(modexp)[3]

HRd<-seq(1,100,1)
HRpr<- (a*HRd^2)+(b*HRd)+k
plot(HR4,meteoHR,xlim=c(0,100),ylim=c(0,100),xlab="Humedad relativa (%) PTHM",ylab=c("Humedad relativa (%) E.M. INIRENA"))
points(HRd, HRpr,type="l",col="red", lwd=2)

x<-seq(0,100)
y<-(a*x^2)+(b*x)+k
remc<-sqrt(mean(resid(modexp)^2))
dy<-range(y)[2]-range(y)[1]
ep<-remc*100/dy
r2 <- sum((fitted(modexp)- mean(meteoHR))^2) / sum((meteoHR-mean(meteoHR))^2)
print("remc");print(remc);print("ep");print(ep);print("r^2");print(r2)
print(coef(modexp))

text(c(5,15),c(90,90),c("remc", round(remc,2)))
text(c(5,15,20),c(75,75,75),c("ep",round(ep,2),"%"))
text(c(5,15),c(55,55),c(expression(r^2),round(r2,2)))
text(c(5,15),c(35,35),c("N",length(HR4)))
text(90,25,paste("y=",round(a,3),"*x^2+",round(b,2),"*x+",round(k,2)))
mtext("Humedad relativa (%) PTHM", side = 1, line = 2.5, outer = FALSE,,cex=0.8)

mtext("PSICOMETRO 4:", side = 2, line = 5,las=1,cex=0.7,font=3)

plot(meteoHR~meteo$POSIX[mhum],type="l",ylim=c(0,100),ylab="Humedad Relativa (%)",xlab="",
lwd=2)
points(HR4~datlog$POSIX[dhum],type="l",col=2,lwd=1.5)
points((a*HR4^2)+(b*HR4)+k~datlog$POSIX[dhum],type="l",col=3,lwd=1.5)

####Etiquetas x,y y título general####
mtext("Humedad relativa (%) INIRENA", side = 2, line = 0.5, outer = TRUE,cex=0.8)
mtext("Humedad relativa (%)", side = 2, line = -46, outer = TRUE,,cex=0.8)
title("Calibración del perfilador termohidrométrico (PTHM) para la humedad relativa (HR)",outer =
TRUE,line=3,cex.main=1.6)
#mtext("Humedad relativa (%) PTHM", side = 1, line = 1, outer = TRUE,adj=0,col=2)
#####

```

```
#####
# Procesamiento, análisis y gráficos de datos. #
#
#####

#Define directorio de trabajo. #Importa archivo con funciones y librerías.
setwd("/home/dahrule/Dropbox/Dahrule/R/baseDatos")
source("/home/dahrule/Dropbox/Dahrule/R/Funciones.R")
#####
# EST. METEOROLOGICA ALTO-FRESNO #
#####
#Lectura de bases de datos. #Ajustes fechas. #Cambia formato de fecha de: chr a POSIXct.
meteo_abril<-read.csv("meteo_abril.csv",header=TRUE,skip=0,stringsAsFactors=F)
meteo_mayo<-read.csv("meteo_mayo.csv",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=F)
meteo_junio<-read.csv("meteo_junio.csv",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=F)
meteo_julio<-read.csv("meteo_julio.csv",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=F)

list<-list("abril"=meteo_abril,"mayo"=meteo_mayo,"junio"=meteo_junio,"julio"=meteo_julio)
for (i in 1:4){
  temporal<-list[[i]]$Date.time
  dia<-substr(list[[i]]$Date.time,4,5)
  mes<-substr(list[[i]]$Date.time,1,2)
  año<-substr(list[[i]]$Date.time,7,20)
  temporal<-paste(dia,mes,año,sep="/")
  list[[i]]$Date.time<-temporal
  list[[i]]$Posix <-as.POSIXct(list[[i]]$Date.time,format="%d/%m/%Y %H:%M:%S",tz="+7")
}
meteo_abril<-list[[1]]
meteo_mayo<-list[[2]]
meteo_junio<-list[[3]]
meteo_julio<-list[[4]]

#####
# DATALOGGER #
#####
#Lectura de bases de datos. #Cambia formato de fecha de: chr a POSIXct.#Corrección de fechas por error en
reloj arduino.
pino_abril<-read.csv("pino29marzo-1mayo.CSV",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=FALSE)
pino_abril$Posix <- as.POSIXct(pino_abril$Date.time,format="%d/%m/%Y %H:%M", tz="+7")

pino_mayo1<-read.csv("pino16mayo-23mayo.CSV",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=FALSE)
pino_mayo1$Posix <- as.POSIXct(pino_mayo1$Date.time,format="%d/%m/%Y %H:%M", tz="+7")
for(i in 2:length(pino_mayo1$Posix)){
  pino_mayo1$Posix[i]<-pino_mayo1$Posix[i-1] + 600
}

pino_junio1<-read.csv("pino03junio.CSV",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=FALSE)
pino_junio1$Posix <-as.POSIXct(pino_junio1$Date.time,format="%d/%m/%Y %H:%M", tz="+7")
for(i in 2:length(pino_junio1$Posix)){
  pino_junio1$Posix[i]<-pino_junio1$Posix[i-1] + 600
}

pino_julio<-read.csv("pino4-17julio.CSV",header=TRUE,skip=2,stringsAsFactors=FALSE)
pino_julio$Posix <-as.POSIXct(pino_julio$Date.time,format="%d/%m/%Y %H:%M", tz="+7")
for(i in 2:length(pino_julio$Posix)){
  pino_julio$Posix[i]<-pino_julio$Posix[i-1] + 600
}
colnames<-c("T0","T1_s","T1_h","T2_s","T2_h","T3_s","T3_h","T4_s","T4_h")
for (i in 2:10 ){
  pino_julio[,i]<-as.numeric(pino_julio[,i])
  sc<-which(pino_julio[,i]<=0 | pino_julio[,i]>=85)
  pino_julio[sc,i]<-NA
  colnames(pino_julio)[i+1]<-colnames[i]
}
colnames(pino_julio)[11]<- "Posix"

#####
# Corrección datos nulos datalogger #
#####
for (i in 3:10 ){
  #Loop que recorre columnas de dataframes "pino_mes" para corregir (T1_s,T1_h..,T4_s,T4_h).
  print(colnames(pino_abril[i])) #Imprime el nombre de la
  columna a corregir.
  pino_abril[,i]<-no.gaps(pino_abril[,i]) #Funcion no.gaps: sustituye valores invalidos (-
  127,0,>85) con valor predicho por modelo lineal.
  pino_mayo1[,i]<-no.gaps(pino_mayo1[,i])
  pino_junio1[,i]<-no.gaps(pino_junio1[,i])
  pino_julio[,i]<-no.gaps(pino_julio[,i])
}
#####
# DEFINICION TEMPORADA LLUVIAS Y SECAS#
#####
#Union bases de datos que conforman cada temporada.
#PINO
pseca<-rbind(pino_abril[354:4672,],pino_abril[4674:5059,],pino_mayo1)

plluvia<-rbind(pino_junio1,pino_julio)

#ESTACION
```

```

meteo_abril<-meteo_abril[,3:40] #Columnas para conservar
meteo_mayo<-meteo_mayo[,c(-2,-3)] #Columnas para conservar
colnames(meteo_abril)<-colnames(meteo_mayo) #Asigna nombres iguales

mseca<-rbind(meteo_abril[1:4319,],meteo_mayo[1:386,],meteo_mayo[2253:3267,])

mlluvia<-rbind(meteo_junio[152:3489,],meteo_julio[476:2529,])

plot(pseca$T1_s~pseca$Posix,type="l")
points(mseca$t.o~mseca$Posix,type="l",col=2)

plot(plluvia$T1_s~plluvia$Posix,type="l")
points(mlluvia$t.o~mlluvia$Posix,type="l",col=2)

#####
# REVISAR SI SE SECO EL PSICOMETRO #
#####
#####
#T. SECA#
#####
#T1
{
plot(pseca$T1_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T1_h~pseca$Posix,type="l",col=2)
#identify(pseca$Posix,pseca$T1_s)

plot(pseca$T1_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T1_h[1:3075]~pseca$Posix[1:3075],type="l",col=2)
points(pseca$T1_h[4746:length(pseca$T1_h)]~pseca$Posix[4746:length(pseca$T1_h)],type="l",col=2)
}
z1<-c(1:3075,4746:length(pseca$T1_h))
pseca$T1_h[-z1]<-NA

#T2
{
plot(pseca$T2_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T2_h~pseca$Posix,type="l",col=2)
#identify(pseca$Posix,pseca$T2_s)

plot(pseca$T2_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T2_h[1:3780]~pseca$Posix[1:3780],type="l",col=2)
points(pseca$T2_h[4680:length(pseca$T1_h)]~pseca$Posix[4680:length(pseca$T1_h)],type="l",col=2)
}
z2<-c(1:3780,4680:length(pseca$T1_h))
pseca$T2_h[-z2]<-NA
points(pseca$T2_h~pseca$Posix,type="l",col=3)

#T3.no se seco.
{
plot(pseca$T3_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T3_h~pseca$Posix,type="l",col=2)
}
#T4
{
plot(pseca$T4_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T4_h~pseca$Posix,type="l",col=2)
#identify(pseca$Posix,pseca$T4_s)

plot(pseca$T4_s~pseca$Posix,type="l")
points(pseca$T4_h[1:3945]~pseca$Posix[1:3945],type="l",col=2)
points(pseca$T4_h[4896:4954]~pseca$Posix[4896:4954],type="l",col=2)
}
z4<-c(1:3945,4896:4954)
pseca$T4_h[-z4]<-NA
points(pseca$T4_h~pseca$Posix,type="l",col=3)

#Calcula humedad relativa con metodo de Ferrel.
h1<-HR.ferrel(pseca$T1_s,pseca$T1_h,mseca$p.bar*100)
h2<-HR.ferrel(pseca$T2_s,pseca$T2_h,mseca$p.bar*100)
h3<-HR.ferrel(pseca$T3_s,pseca$T3_h,mseca$p.bar*100)
h4<-HR.ferrel(pseca$T4_s,pseca$T4_h,mseca$p.bar*100)

HRpseca<-list("h1"=h1,"h2"=h2,"h3"=h3,"h4"=h4,"Date.time"=pseca$Date.time,"Posix"=pseca$Posix)
#####
#LLUVIA#
#####
#T1: No se seco.
{
plot(plluvia$T1_s~plluvia$Posix,type="l")
points(plluvia$T1_h~plluvia$Posix,type="l",col=2)
}

#T2: No se seco.
{
plot(plluvia$T2_s~plluvia$Posix,type="l")
points(plluvia$T2_h~plluvia$Posix,type="l",col=2)
}

#T3: No se seco.

```

```
{
plot(plluvia$T3_s~plluvia$Posix,type="l")
points(plluvia$T3_h~plluvia$Posix,type="l",col=2)
}

#T4:
{
plot(plluvia$T4_s~plluvia$Posix,type="l")
points(plluvia$T4_h~plluvia$Posix,type="l",col=2)
#identifiy(plluvia$Posix,plluvia$T4_h)

plot(plluvia$T4_s~plluvia$Posix,type="l")
points(plluvia$T4_h[1:4483]~plluvia$Posix[1:4483],type="l",col=2)
points(plluvia$T4_h[4484:4500]~plluvia$Posix[4484:4500],type="l",col=2)
points(plluvia$T4_h[4488:4625]~plluvia$Posix[4488:4625],type="l",col=2)
points(plluvia$T4_h[4768:length(plluvia$T4_h)]~plluvia$Posix[4768:length(plluvia$T4_h)],type="l",col=2)
}
z4<-c(1:4483,4484:4500,4488:4625,4768:length(plluvia$T4_h))
plluvia$T4_h[-z4]<-NA

#####
# CALCULOS HUMEDAD RELATIVA (HR) método Ferrel. #
#####
h1<-HR.ferrel(plluvia$T1_s,plluvia$T1_h,mlluvia$p.bar*100)
h2<-HR.ferrel(plluvia$T2_s,plluvia$T2_h,mlluvia$p.bar*100)
h3<-HR.ferrel(plluvia$T3_s,plluvia$T3_h,mlluvia$p.bar*100)
h4<-HR.ferrel(plluvia$T4_s,plluvia$T4_h,mlluvia$p.bar*100)

HRplluvia<-list("h1"=h1,"h2"=h2,"h3"=h3,"h4"=h4,"Date.time"=plluvia$Date.time,"Posix"=plluvia$Posix)
#####
# HR CORRECCION POR CALIBRACION #
#####
par(mfrow=c(2,4))
for(i in 1:4){
coef.a<-c(0.005293042,0.006395144,0.01219322,0.007335338 )
coef.b<-c(0.2949577,0.3313924,-0.4870719,0.1127794 )
coef.k<-c(3.92882,1.8684,23.62238,9.947694)

x<-HRpseca[[i]]
HRpseca[[i]]<-(coef.a[i]*x^2)+(coef.b[i]*x)+coef.k[i]

hist(HRpseca[[i]],xlab=i)
rug(HRpseca[[i]],col=i)

y<-HRplluvia[[i]]
HRplluvia[[i]]<-(coef.a[i]*y^2)+(coef.b[i]*y)+coef.k[i]

hist(HRplluvia[[i]],xlab=i)
rug(HRplluvia[[i]],col=i)
}

#####
##Reescalamiento##
#####
#SECA h1
#SECA h2
sc<-which(HRpseca$h2>150)
HRpseca$h2[sc]<-max(HRpseca$h2[-sc],na.rm=TRUE)
#SECA h3
sc<-which(HRpseca$h3>100)
HRpseca$h3[sc]<-max(HRpseca$h3[-sc],na.rm=TRUE)
#SECA h4
sc<-which(round(HRpseca$h4)>100)
HRpseca$h4[sc]<-max(HRpseca$h4[-sc],na.rm=TRUE)
#LLUVIA h1
#LLUVIA h2
sc<-which(HRplluvia$h2>110)
HRplluvia$h2[sc]<-max(HRplluvia$h2[-sc],na.rm=TRUE)
#LLUVIA h3
sc<-which(HRplluvia$h3>100)
HRplluvia$h3[sc]<-max(HRplluvia$h3[-sc],na.rm=TRUE)
#LLUVIA h4
sc<-which(HRplluvia$h4>100)
HRplluvia$h4[sc]<-max(HRplluvia$h4[-sc],na.rm=TRUE)

par(mfrow=c(2,4))
for(i in 1:4){
#SECA
maxi<-max(HRpseca[[i]],na.rm=TRUE)
mini<-min(HRpseca[[i]],na.rm=TRUE)
m1<-lm(c(100,mini)~c(maxi,mini))
HRpseca[[i]]<-(coef(m1)[2])*HRpseca[[i]]+coef(m1)[1])

hist(HRpseca[[i]],xlab=i)
rug(HRpseca[[i]],col=i)
#LLUVIA
maxi<-max(HRplluvia[[i]],na.rm=TRUE)
mini<-min(HRplluvia[[i]],na.rm=TRUE)
}
```

```

m1<-lm(c(100,mini)~c(maxi,mini))
HRp1l1uvia[i]<-(coef(m1)[2])*HRp1l1uvia[[i]]+coef(m1)[1])

hist(HRp1l1uvia[[i]],xlab=i)
rug(HRp1l1uvia[[i]],col=i)
}

#####
# T CORRECCION POR CALIBRACION #
#####
Tpseca<-subset(pseca,select=c(-T1_h,-T2_h,-T3_h,-T4_h,-T0))
Tp1l1uvia<-subset(p1l1uvia,select=c(-T1_h,-T2_h,-T3_h,-T4_h,-T0))

for(i in 1:4){
  colnames.s<-c("T1_s","T2_s","T3_s","T4_s")
  coef.m<-c(0.94,0.91,0.85,0.92)
  coef.a<-c(0.61,0.69,1.85,0.82)

  Tpseca[,colnames.s[i]]<-(coef.m[i]*Tpseca[,colnames.s[i]])+coef.a[i]
  Tp1l1uvia[,colnames.s[i]]<-(coef.m[i]*Tp1l1uvia[,colnames.s[i]])+coef.a[i]
}

#####
### Eliminando los valores disparados en Tpseca ###
#####
for ( i in 2:5){
  sc <- which(Tpseca[,i] > 30 | Tpseca[,i] <2)
  Tpseca[sc,i] <- c(NA)
}
plot(Tpseca[,2] ~ Tpseca[,6])

#####
### Eliminando los valores disparados en Tp1l1uvia ###
#####
for ( i in 2:5){
  sc <- which(Tp1l1uvia[,i] > 30 | Tp1l1uvia[,i] <2)
  Tp1l1uvia[sc,i] <- c(NA)
}
plot(Tp1l1uvia[,2] ~ Tp1l1uvia[,6])

#####
# Oscilaciones #
#####
#PINO
Tpseca.dif<-oscilacion(Tpseca) #Oscilacion dia/noche temperatura, periodo seco, bosque pino
Tp1l1uvia.dif<-oscilacion(Tp1l1uvia) #Oscilacion dia/noche temperatura, periodo lluvia, bosque pino
HRpseca.dif<-oscilacion(HRpseca) #Oscilacion dia/noche humedad, periodo seco, bosque pino
HRp1l1uvia.dif<-oscilacion(HRp1l1uvia) #Oscilacion dia/noche humedad, periodo lluvia, bosque pino

#ESTACION METEO
Tmseca<-subset(mseca,select=c("Date.time","Posix","t.o"))
Tm1l1uvia<-subset(m1l1uvia,select=c("Date.time","Posix","t.o"))
HRmseca<-subset(mseca,select=c("Date.time","Posix","hum"))
HRm1l1uvia<-subset(m1l1uvia,select=c("Date.time","Posix","hum"))

Tmseca.dif<-oscilacion(Tmseca) #Oscilacion dia/noche temperatura, periodo seco, est.referencia
Tm1l1uvia.dif<-oscilacion(Tm1l1uvia) #Oscilacion dia/noche temperatura, periodo lluvia, est.referencia
HRmseca.dif<-oscilacion(HRMseca) #Oscilacion dia/noche humedad, periodo seco, est.referencia
HRm1l1uvia.dif<-oscilacion(HRM1l1uvia) #Oscilacion dia/noche humedad, periodo lluvia, est.referencia

####TEMPERATURA: UNION ESTACION-PINO####
Temp.seca<-cbind("ER"=Tmseca.dif$t.o,Tpseca.dif)
Temp.seca$temporada<-rep("seca",length(Temp.seca$Dia))

Temp.1l1uvia<-cbind("ER"=Tm1l1uvia.dif$t.o,Tp1l1uvia.dif)
Temp.1l1uvia$temporada<-rep("1l1uvia",length(Temp.1l1uvia$Dia))

Temp<-rbind(Temp.seca,Temp.1l1uvia)

####HUMEDAD RELATIVA: UNION ESTACION-PINO####
HR.seca<-cbind("ER"=HRmseca.dif$hum,HRpseca.dif)
HR.seca$temporada<-rep("seca",length(HR.seca$Dia))

HR.1l1uvia<-cbind("ER"=HRm1l1uvia.dif$hum,HRp1l1uvia.dif)
HR.1l1uvia$temporada<-rep("1l1uvia",length(HR.1l1uvia$Dia))

HR<-rbind(HR.seca,HR.1l1uvia)

#####
###Oscilaciones termicas###
#####
#tiff("/home/john/Dropbox/Dahrule/GRAFICAS/Figure6.tif", width=1200, height=1000, units="px",
pointsize=25)
x<-stack(Temp.seca,select=c("ER","T1_s","T2_s","T3_s","T4_s"))

```

```
x$Id<-as.factor(rep(Temp.seca$Id,length(unique(x$ind))))
x$temporada<-as.factor(rep(unique(Temp.seca$temporada),length((x$Id))))

y<-stack(Temp.lluvia,select=c("ER","T1_s","T2_s","T3_s","T4_s"))
y$Id<-as.factor(rep(Temp.lluvia$Id,length(unique(y$ind))))
y$temporada<-as.factor(rep(unique(Temp.lluvia$temporada),length((y$Id))))

#xy<-rbind(x,y)
#####
### Grafica Oscilación térmica ###
#####
par(mfrow=c(1,2),oma=c(1,0.5,0,2))
#####
####boxplot Secca####
f<-boxplot(x$values ~ x$ind * x$Id,horizontal=TRUE,notch=FALSE,
col=c("grey","white","white","white","white"),
axes=FALSE,ylim=c(0,30))
axis(1,at=seq(from=0,to=30,by=2),labels=seq(from=0,to=30,by=2))
axis(2, at=c(2,3,4,5,7,8,9,10),labels=c("2m","10m","15m","20m","2m","10m","15m","20m"),
las=1)
axis(2, at=c(1,6),labels=c("OA","OA"),las=1,font=3)
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(1),lty=1,col="red")
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(-0.06),lty=1,col="red")
axis(4,at=c(3,8),labels=c("night","day"),lty=c(1,1),font=3,col="red")
box(col="red")
abline(v=seq(from=0,to=30,by=1), col="darkgray",lty=3,lwd=1.8)
text(c(f$stats[5,1]+5,f$stats[5,2]+5,f$stats[5,3]+5,f$stats[5,4]+5,f$stats[5,5]+5,f$stats[5,6]+5,
f$stats[5,7]+5,f$stats[5,8]+5,f$stats[5,9]+5,f$stats[5,10]+5),c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7),
c("N=38","N=33","N=33","N=31","N=33","N=38","N=34","N=34","N=34","N=33"),
cex=0.7)
text(c(f$stats[5,1]+1,f$stats[5,2]+1,f$stats[5,3]+1,f$stats[5,4]+1,f$stats[5,5]+1,f$stats[5,6]+1,
f$stats[5,7]+1,f$stats[5,8]+1,f$stats[5,9]+1,f$stats[5,10]+1),c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10),
c("c","c","c","c","c","b","b","a","a","a"))
mtext(side=3,"Dry season",outer=F,line=0.5,cex=1.3)

#####
###Generar promedios por nivel###
#####
prom<-NULL
for(i in 1:2){
for(j in 1:5){
temp<-mean(x$value[which(x$ind==unique(x$ind)[j] & x$Id==unique(x$Id)[i])],na.rm=TRUE)
prom<-c(prom,temp)
}
}
points(prom,c(1:10),pch=10)

#####
### ANOVAS oscilación térmica (seca) #
#####
anova <- aov(x$values ~ x$ind * x$Id)
summary(anova)
tukey<-TukeyHSD(anova)
tukey<-data.frame(tukey[[3]])
sc<-which(tukey$p.adj<=0.05)
tukey[sc,]

#####
####box plot Lluvia####
f<-boxplot(y$values ~ y$ind * y$Id,horizontal=TRUE,notch=FALSE,
col=c("grey","white","white","white","white"),
axes=F,ylim=c(0,30))
axis(1,at=seq(from=0,to=30,by=2),labels=seq(from=0,to=30,by=2))
axis(2, at=c(2,3,4,5,7,8,9,10),labels=c("2m","10m","15m","20m","2m","10m","15m","20m"),
las=1)
axis(2, at=c(1,6),labels=c("OA","OA"),las=1,font=3)
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(1),lty=1,col="blue")
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(-0.06),lty=1,col="blue")
axis(4,at=c(3,8),labels=c("night","day"),lty=c(1,1),font=3,col="blue")
box(col="blue")
abline(v=seq(from=0,to=30,by=1), col="darkgray",lty=3,lwd=1.8)
text(c(f$stats[5,1]+5,f$stats[5,2]+5,f$stats[5,3]+5,f$stats[5,4]+5,f$stats[5,5]+5,f$stats[5,6]+5,
f$stats[5,7]+5,f$stats[5,8]+5,f$stats[5,9]+5,f$stats[5,10]+5),c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7),
c("N=36","N=32","N=32","N=27","N=32","N=36","N=31","N=31","N=27","N=31"),
cex=0.7)
text(c(f$stats[5,1]+1,f$stats[5,2]+1,f$stats[5,3]+1,f$stats[5,4]+1,f$stats[5,5]+1,f$stats[5,6]+1,
f$stats[5,7]+1,f$stats[5,8]+1,f$stats[5,9]+1,f$stats[5,10]+1),c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10),
c("c","c","c","c","c","b","a","a","a","a"))
mtext(side=3,"Wet season",outer=F,line=0.5,cex=1.3)

#title(main="Thermal oscillation under pine-oak forest canopy",line =0.5, outer = TRUE,
# cex.main=1.5)

mtext("Daily oscillation (Tmax-Tmin (°C))",line=-1.5,outer=T,side=1)

#####
###Generar promedios por nivel###
#####
prom<-NULL
```

```

for(i in 1:2){
  for(j in 1:5){
    temp<-mean(y$value[which(y$ind==unique(y$ind)[j] & y$Id==unique(y$Id)[i])],na.rm=TRUE)
    prom<-c(prom,temp)
  }
}
points(prom,c(1:10),pch=10)

#####
####ANOVAS oscilación térmica (lluvia).###
#####
anova <- aov(y$values ~ y$ind * y$Id)
summary(anova)
tukey<-TukeyHSD(anova)
tukey<-data.frame(tukey[[3]])
sc<-which(tukey$p.adj<=0.05)
tukey[sc,]
}
#####Termina la gráfica oscilación térmica#####
dev.off()

#####
####Oscilaciones higras#####
#####
x<-stack(HR.seca,select=c("ER","h1","h2","h3","h4"))
x$Id<-as.factor(rep(HR.seca$Id,length(unique(x$ind))))
x$temporada<-as.factor(rep(unique(HR.seca$temporada),length((x$Id))))

y<-stack(HR.lluvia,select=c("ER","h1","h2","h3","h4"))
y$Id<-as.factor(rep(HR.lluvia$Id,length(unique(y$ind))))
y$temporada<-as.factor(rep(unique(HR.lluvia$temporada),length((y$Id))))
### Graficacion (oscilaciones higras)#####
par(mfrow=c(1,2),oma=c(1,0.5,0,2))

#####
####boxplot Seca####
f<-boxplot(x$values ~ x$ind * x$Id,horizontal=TRUE,notch=FALSE,
  col=c("grey","white","white","white","white"),
  axes=F,ylim=c(0,100))
axis(1,at=c(seq(from=0,to=100,by=10)),labels=c(seq(from=0,to=100,by=10)))
axis(2, at=c(2,3,4,5,7,8,9,10),labels=c("2m","10m","15m","20m","2m","10m","15m","20m"),
  las=1)
axis(2, at=c(1,6),labels=c("ER","ER"),
  las=1,font=3)
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(1),lty=1,col="red")
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(-0.06),lty=1,col="red")
axis(4,at=c(3,8),labels=c("noche","día"),lty=c(1,1),font=3,col="red")
box(col="red")
abline(v=seq(from=0,to=100,by=5), col="darkgray",lty=3,lwd=1.8)
text(c(f$stats[5,1]+12,f$stats[5,2]+12,f$stats[5,3]+12,f$stats[5,4]+12,f$stats[5,5]+12,f$stats[5,6]+12,
f$stats[5,7]+12,f$stats[5,8]+12,f$stats[5,9]+12,f$stats[5,10]+12),c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9
.7),
c("N=38","N=20","N=33","N=31","N=25","N=38","N=20","N=33","N=33","N=25"),
cex=0.7)
text(c(f$stats[5,1]+2,f$stats[5,2]+2,f$stats[5,3]+2,f$stats[5,4]+2,f$stats[5,5]+2,f$stats[5,6]+2,
f$stats[5,7]+2,f$stats[5,8]+2,f$stats[5,9]+2,f$stats[5,10]+2),c(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10),
c("c","c","c","c","c","b","a","a","b","a/c"))
mtext(side=3,"Temporada seca",outer=F,line=0.5,cex=1.3)

#####
###Generar promedios por nivel###
#####
prom<-NULL
for(i in 1:2){
  for(j in 1:5){
    temp<-mean(x$value[which(x$ind==unique(x$ind)[j] & x$Id==unique(x$Id)[i])],na.rm=TRUE)
    prom<-c(prom,temp)
  }
}
points(prom,c(1:10),pch=10)

#####
####ANOVAS oscilación higras (seca).###
#####
anova <- aov(x$values ~ x$ind * x$Id)
summary(anova)
tukey<-TukeyHSD(anova)
tukey<-data.frame(tukey[[3]])
sc<-which(tukey$p.adj<=0.05)
tukey[sc,]

#####
####boxplot Lluvia####
f<-boxplot(y$values ~ y$ind * y$Id,horizontal=TRUE,notch=FALSE,
  col=c("grey","white","white","white","white"),
  axes=F,ylim=c(0,100))
axis(1,at=c(seq(from=0,to=100,by=20)),labels=c(seq(from=0,to=100,by=20)))
axis(2, at=c(2,3,4,5,7,8,9,10),labels=c("2m","10m","15m","20m","2m","10m","15m","20m"),
  las=1)

```



```
axis(2, at=c(1,6), labels=c("ER", "ER"), font=3, las=1)
axis(2, at=c(5.5), labels=c(""), tck=c(1), lty=1, col="blue")
axis(2, at=c(5.5), labels=c(""), tck=c(-0.06), lty=1, col="blue")
axis(4, at=c(3,8), labels=c("noche", "día"), lty=c(1,1), font=3, col="blue")
box(col="blue")
abline(v=seq(from=0, to=100, by=5), col="darkgray", lty=3, lwd=1.8)
text(c(f$stats[5,1]+12, f$stats[5,2]+12, f$stats[5,3]+12, f$stats[5,4]+12, f$stats[5,5]+12, f$stats[5,6]+12,
f$stats[5,7]+12, f$stats[5,8]+12, f$stats[5,9]+12, f$stats[5,10]+12), c(.7, 1.7, 2.7, 3.7, 4.7, 5.7, 6.7, 7.7, 8.7, 9
.7),
c("N=36", "N=32", "N=10", "N=20", "N=27", "N=36", "N=31", "N=9", "N=22", "N=28"),
cex=0.7)
text(c(f$stats[5,1]+2, f$stats[5,2]+2, f$stats[5,3]+2, f$stats[5,4]+2, f$stats[5,5]+3, f$stats[5,6]+2,
f$stats[5,7]+2, f$stats[5,8]+2, f$stats[5,9]+2, f$stats[5,10]+2), c(1.3, 2.3, 3.3, 4.3, 5.3, 6.3, 7.3, 8.3, 9.3, 10.3
),
c("d", "d", "d", "c", "c/d", "b", "b", "a", "a", "a"))
mtext(side=3, "Temporada lluvia", outer=F, line=0.5, cex=1.3)

title("Oscilación higríca dentro del dosel del bosque de pino-encino", line = 0.5, outer = TRUE,
cex.main=1.5)
mtext("HRmax-HRmin (%)", line=-1.5, outer=T, side=1)

#####
###Generar promedios por nivel###
#####
prom<-NULL
for(i in 1:2){
  for(j in 1:5){
    temp<-mean(y$value[which(y$ind==unique(y$ind)[j] & y$id==unique(y$id)[i])], na.rm=TRUE)
    prom<-c(prom, temp)
  }
}
points(prom, c(1:10), pch=10)

#####
#####ANOVAS oscilación higríca (lluvia)###
#####
anova <- aov(y$values ~ y$ind * y$id)
summary(anova)
tukey<-TukeyHSD(anova)
tukey<-data.frame(tukey[[3]])
sc<-which(tukey$p.adj<0.05)
tukey[sc,]
}
#####Termina la gráfica oscilación higríca#####
dev.off()

#####
### CÁLCULO MEDIAS HORARIAS ###
#####
Tpseca_mean<-data.frame("T1_s"=numeric(), "T2_s"=numeric(), "T3_s"=numeric(), "T4_s"=numeric())
Tp1lluvia_mean<-data.frame("T1_s"=numeric(), "T2_s"=numeric(), "T3_s"=numeric(), "T4_s"=numeric())

HRpseca<-as.data.frame(HRpseca, stringsAsFactors=FALSE)
HRp1lluvia<-as.data.frame(HRp1lluvia, stringsAsFactors=FALSE)
HRpseca_mean<-data.frame(h1=numeric(), h2=numeric(), h3=numeric(), h4=numeric())
HRp1lluvia_mean<-data.frame(h1=numeric(), h2=numeric(), h3=numeric(), h4=numeric())
mseca_mean<-data.frame(t.o=numeric(), hum=numeric())
m1lluvia_mean<-data.frame(t.o=numeric(), hum=numeric())
for(i in sort(unique(Tpseca$h))){
  #####
  ##TEMP##
  sc<-subset(Tpseca, Tpseca$h==i, c(T1_s, T2_s, T3_s, T4_s))
  Tpseca_mean<-rbind(Tpseca_mean, apply(sc, 2, function(x) mean(x, na.rm=TRUE)))
  sc<-subset(Tp1lluvia, Tp1lluvia$h==i, c(T1_s, T2_s, T3_s, T4_s))
  Tp1lluvia_mean<-rbind(Tp1lluvia_mean, apply(sc, 2, function(x) mean(x, na.rm=TRUE)))
  #####
  ##HR##
  sc<-subset(HRpseca, HRpseca$h==i, c(h1, h2, h3, h4))
  HRpseca_mean<-rbind(HRpseca_mean, apply(sc, 2, function(x) mean(x, na.rm=TRUE)))
  sc<-subset(HRp1lluvia, HRp1lluvia$h==i, c(h1, h2, h3, h4))
  HRp1lluvia_mean<-rbind(HRp1lluvia_mean, apply(sc, 2, function(x) mean(x, na.rm=TRUE)))

  sc<-subset(mseca, mseca$h==i, c(t.o, hum))
  mseca_mean<-rbind(mseca_mean, apply(sc, 2, function(x) mean(x, na.rm=TRUE)))
  sc<-subset(m1lluvia, m1lluvia$h==i, c(t.o, hum))
  m1lluvia_mean<-rbind(m1lluvia_mean, apply(sc, 2, function(x) mean(x, na.rm=TRUE)))
}

#####
#####GRAFICO MEDIAS HORARIAS#####
#####
par(mfrow=c(2,2), oma=c(1,1,6,0))
par(mar=c(4,4,1,1))
####Tseca####
plot(mseca_mean[,1]~unique(mseca$h), type="l", col=1, axes=FALSE,
ylim=c(9,24), xlab="Hora del día", ylab="Media Temperatura del aire (°C)")
axis(1, at=seq(0,23), labels=unique(mseca$h))
```

```
axis(2,at=seq(9,24),labels=seq(9,24))
box()
points(mseca_mean[,1]~unique(Tpseca$h),type="p",col=1)
points(Tpseca_mean[,1]~unique(Tpseca$h),type="l",col=2,lty=2,lwd=1.5)
points(Tpseca_mean[,2]~unique(Tpseca$h),type="l",col=3)
points(Tpseca_mean[,3]~unique(Tpseca$h),type="l",col=4)
points(Tpseca_mean[,4]~unique(Tpseca$h),type="l",col="chocolate2",lwd=1.5)
mtext(side=3,"Temporada seca",outer=F,line=0.8,cex=1,font=2)
legend("topleft",legend=c("ER","2m","10m","15m","20m"),col=c(1,2,3,4,"chocolate2"),
lty=c(1,2,1,1,1),pch=c(1,-1,-1,-1,-1),seg.len=0.7,lwd=2,cex=0.5,y.intersp=0.5,x.intersp=.5)
#####
##Tlluvia###
plot(mlluvia_mean[,1]~unique(Tpseca$h),type="l",col=1,axes=FALSE,
ylim=c(9,24),xlab="Hora del día",ylab="Media Temperatura del aire (°C)")
axis(1,at=seq(0,23),labels=h)
axis(2,at=seq(9,24),labels=seq(9,24))
box()
points(mlluvia_mean[,1]~unique(Tpseca$h),type="p",col=1)
points(Tp1lluvia_mean[,1]~unique(Tpseca$h),type="l",col=2,lty=2,lwd=1.5)
points(Tp1lluvia_mean[,2]~unique(Tpseca$h),type="l",col=3)
points(Tp1lluvia_mean[,3]~unique(Tpseca$h),type="l",col=4)
points(Tp1lluvia_mean[,4]~unique(Tpseca$h),type="l",col="chocolate2",lwd=1.5)
mtext(side=3,"Temporada lluvia",outer=F,line=0.8,cex=1,font=2)
#####
##HRseca###
plot(mseca_mean[,2]~unique(HRpseca$h),type="l",col=1,axes=FALSE,
ylim=c(20,100),xlab="Hora del día",ylab="Media Humedad relativa (%)")
axis(1,at=seq(0,23),labels=unique(mseca$h))
axis(2,at=seq(20,100,by=5),labels=seq(20,100,by=5))
box()
points(mseca_mean[,2]~unique(HRpseca$h),type="p",col=1)
points(HRpseca_mean[,1]~unique(HRpseca$h),type="l",col=2,lty=2,lwd=1.5)
points(HRpseca_mean[,2]~unique(HRpseca$h),type="l",col=3)
points(HRpseca_mean[,3]~unique(HRpseca$h),type="l",col=4)
points(HRpseca_mean[,4]~unique(HRpseca$h),type="l",col="chocolate2",lwd=1.5)
#####
##HR1lluvia###
plot(mlluvia_mean[,2]~sort(unique(HRp1lluvia$h)),type="l",col=1,axes=FALSE,
ylim=c(20,100),xlab="Hora del día",ylab="Media Humedad relativa (%)")
axis(1,at=seq(0,23),labels=unique(mseca$h))
axis(2,at=seq(20,100,by=5),labels=seq(20,100,by=5))
box()
points(mlluvia_mean[,2]~sort(unique(HRp1lluvia$h)),type="p",col=1)
points(HRp1lluvia_mean[,1]~sort(unique(HRp1lluvia$h)),type="l",col=2,lty=2,lwd=1.5)
points(HRp1lluvia_mean[,2]~sort(unique(HRp1lluvia$h)),type="l",col=3)
points(HRp1lluvia_mean[,3]~sort(unique(HRp1lluvia$h)),type="l",col=4)
points(HRp1lluvia_mean[,4]~sort(unique(HRp1lluvia$h)),type="l",col="chocolate2",lwd=1.5)

title(main="Medias Horarias de la Temperatura del Aire y Humedad Relativa",line = 3,
outer = TRUE,cex.main=1.3)

#####
#ANOVAS TEMP Y HR.....#
#####
{
par(mfrow=c(1,2),oma=c(1,0.5,2,2))
##TEMP##
Tpseca$ER<-mseca$t.o
x<-stack(Tpseca,select=c(T1_s ,T2_s,T3_s,T4_s,ER))
x$temporada<-rep("seca",length(x$values))

Tp1lluvia$ER<-m1lluvia$t.o
y<-stack(Tp1lluvia,select=c(T1_s ,T2_s,T3_s,T4_s,ER))
y$temporada<-rep("lluvia",length(y$values))

xy<-rbind(x,y)

anova <-aov(xy$values ~ xy$ind * xy$temporada)
tukey<-TukeyHSD(anova)
tukey<-data.frame(tukey[[3]])
sc<-which(tukey$p.adj<=0.05)
tukey[sc,]

f<-boxplot(xy$values ~ xy$ind * xy$temporada,horizontal=TRUE,
col=c("grey","white","white","white","white"),ylim=c(0,30),axes=FALSE,xlab="Temperatura del aire (°C)")
axis(1,at=seq(from=0,to=30,by=2),labels=seq(from=0,to=30,by=2))
axis(2, at=c(2,3,4,5,7,8,9,10),labels=c("2m","10m","15m","20m","2m","10m","15m","20m"),
las=1)
axis(2, at=c(1,6),labels=c("ER","ER"),las=1,font=3)
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(1),lty=1,col="red")
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(-0.06),lty=1,col="red")
axis(4,at=c(3,8),labels=c("temporada lluvia","temporada seca"),lty=c(1,1),font=3,col="red")
box(col="red")
abline(v=seq(from=0,to=30,by=1), col="darkgray",lty=3,lwd=1.8)

text(c(f$stats[5,1]+1,f$stats[5,2]+1,f$stats[5,3]+1,f$stats[5,4]+1,f$stats[5,5]+1,f$stats[5,6]+1,
f$stats[5,7]+1,f$stats[5,8]+1,f$stats[5,9]+1,f$stats[5,10]+1),c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7)+
0.5,
```

```

c("c","d","e","d","d","a","c","b","a","a"),cex=1)
text(c(f$stats[1,1],f$stats[1,2],f$stats[1,3],f$stats[1,4],f$stats[1,5],f$stats[1,6],
f$stats[1,7],f$stats[1,8],f$stats[1,9],f$stats[1,10])-3.5,c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7),
c("N=5392","N=5044","N=5044","N=4312","N=5046","N=5720","N=5211","N=5220","N=5212","N=5212"),
cex=0.7)
#####
###Generar promedios por nivel###
#####
prom<-NULL
for(i in 1:2){
  for(j in 1:5){
    temp<-mean(xy$values[which(xy$ind==unique(xy$ind)[j]) &
xy$temporada==unique(xy$temporada)[i]]),na.rm=TRUE)
    prom<-c(prom,temp)
  }
}
points(prom,c(7:10,6,2:5,1),pch=10,col="red")

#mtext(side=3,"Temperatura del aire (°C)",outer=F,line=0.5,cex=1.3)
#####
##HR##
HRpseca$ER<-mseca$hum
x<-stack(HRpseca,select=c(h1,h2,h3,h4,ER))
x$temporada<-rep("seca",length(x$values))

HRp lluvia$ER<-mlluvia$hum
y<-stack(HRp lluvia,select=c(h1,h2,h3,h4,ER))
y$temporada<-rep("lluvia",length(y$values))

xy<-rbind(x,y)

anova <-aov(xy$values ~ xy$ind * xy$temporada)
tukey<-TukeyHSD(anova)
tukey<-data.frame(tukey[[3]])
sc<-which(tukey$p.adj<=0.05)
tukey[sc,]

f<-boxplot(xy$values ~ xy$ind * xy$temporada,horizontal=TRUE,
col=c("grey","white","white","white","white"),ylim=c(10,100),axes=FALSE,xlab="Humedad Relativa (%)")
axis(1,at=c(seq(from=10,to=100,by=10)),labels=c(seq(from=10,to=100,by=10)))
axis(2, at=c(2,3,4,5,7,8,9,10),labels=c("2m","10m","15m","20m","2m","10m","15m","20m"),
las=1)
axis(2, at=c(1,6),labels=c("ER","ER"),
las=1,font=3)
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(1),lty=1,col="blue")
axis(2, at=c(5.5),labels=c(""),tck=c(-0.06),lty=1,col="blue")
axis(4,at=c(3,8),labels=c("temporada de lluvia","temporada seca"),lty=c(1,1),font=3,col="blue")
box(col="blue")
abline(v=seq(from=10,to=100,by=5), col="darkgray",lty=3,lwd=1.8)

text(c(c(f$stats[5,1]+1,f$stats[5,2]+1,f$stats[5,3]+1,f$stats[5,4]+1,f$stats[5,5]+1,f$stats[5,6]+1,
f$stats[5,7]+1,f$stats[5,8]+1,f$stats[5,9]+1,f$stats[5,10]+1),c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7))+
0.5,
c("i","h","g","f","e","d","a","c","b","a"),cex=1)
text(c(f$stats[1,1],f$stats[1,2],f$stats[1,3],f$stats[1,4],f$stats[1,5],f$stats[1,6],
f$stats[1,7],f$stats[1,8],f$stats[1,9],f$stats[1,10])-3.5,c(.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7),
c("N=5392","N=5037","N=1703","N=3634","N=4667","N=5720","N=3825","N=4577","N= 5204","N=3908"),
cex=0.7)
#####
###Generar promedios por nivel###
#####
prom<-NULL
for(i in 1:2){
  for(j in 1:5){
    temp<-mean(xy$values[which(xy$ind==unique(xy$ind)[j]) &
xy$temporada==unique(xy$temporada)[i]]),na.rm=TRUE)
    prom<-c(prom,temp)
  }
}
points(prom,c(7:10,6,2:5,1),pch=10,col="blue")

title(main="Temperatura del aire y humedad relativa dentro del dosel del bosque de pino-encino",line
=0.6, outer = TRUE,
cex.main=1.5)
}

#####
#####FIN#####

```