

EN

Cooling capacity and condensation of atmospheric humidity of shade trees in coffee plantations from the Pluma Hidalgo region, Oaxaca

ES

Capacidad de enfriamiento y condensación de humedad atmosférica de los árboles de sombra en cafetales de la región Pluma Hidalgo, Oaxaca

Mario Castelán Lorenzo

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Preparatoria Agrícola. Área de Agronomía. Academia de Meteorología. km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Corresponding author:
mcastelanl@chapingo.mx.
ORCID: 0000-0002-9587-7192

Received: December 6, 2021 /
Accepted: March 28, 2022

DOI:
10.5154/r.rchsat.2022.02.03

Abstract

The cooling capacity of the vegetation is usually faster than the environment in a forest ecosystem, building up dew on the leaves of the trees that are in the tree canopy; depending on the species, they usually register different temperatures in the stem, in the leaves and branches. In this way, the temperatures of the main shade trees in coffee plantations of Pluma Hidalgo, Oaxaca, were compared in order to obtain which ones cool the fastest and, therefore, condense more atmospheric humidity. The temperatures of the environment, the dew point and stems and leaves of some main tree species were recorded for 24 hours to find the relationship between the cooling of the trees and the ambient temperature. To perform the data analysis, the Generalized Linear Model (GLM) was used with a gamma distribution, by using the Tidyverse, Broom and MuMIn packages, and the Software R version 4.1.2 and RStudio version 2021.09.2+382. As a result, it was found that the palo mujer (*Alchornea latifolia* Sw.) is the tree that reaches the lowest temperatures at the time the ambient temperature was lowest, which indicates that this tree has the greatest cooling capacity, therefore, in a reforestation project, its use is recommended to develop the function of condensing atmospheric humidity.

Keywords: Ambient temperature, *Alchornea latifolia* Sw., moisture condensation

Resumen

La capacidad de enfriamiento de la vegetación suele ser más rápida que el ambiente en un ecosistema boscoso, formándose el rocío en las hojas de los árboles que se hayan en el dosel arbóreo; dependiendo de la especie, suelen ocurrir diferentes temperaturas tanto en el tallo, como en hojas y ramas. Se compararon las temperaturas de los principales árboles de sombra en cafetales de Pluma Hidalgo, Oaxaca, con el objetivo de registrar cuáles son los que enfrían más rápido y, por tanto, condensan mayor humedad atmosférica. Se registraron



Please cite this article as follows (APA 6): Castelán Lorenzo, M. (2022). Cooling capacity and condensation of atmospheric humidity of shade trees in coffee plantations from the Pluma Hidalgo region, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 2(1), 33-43. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsat.2022.02.03>

las temperaturas, ambiental, punto de rocío y de tallos y hojas de algunas de las principales especies arbóreas durante 24 horas, con la finalidad de encontrar la relación entre el enfriamiento de los árboles con respecto a la temperatura ambiente. Para realizar el análisis de datos se empleó el modelo lineal generalizado (Generalized Linear Model, GLM) utilizando una distribución gamma, empleando los paquetes Tidyverse, Broom y MuMIn, y usando el programa informático R versión 4.1.2 y R Studio versión 2021.09.2+382. En los resultados, se encontró que el palo mujer (*Alchornea latifolia* Sw.) es el árbol que alcanzó las temperaturas más bajas en la hora en que la temperatura ambiente fue menor, lo cual indica que este árbol tiene la mayor capacidad de enfriamiento, por lo que, en un proyecto de reforestación, se recomienda emplear este árbol para que realice las funciones de condensación de humedad atmosférica.

Palabras clave: Temperatura ambiental, *Alchornea latifolia* Sw., condensación de humedad.

Introduction

The horizontal precipitation occurs from the atmospheric humidity when it hits with objects below the ambient temperature (Rodríguez, et al., 2004). Generally, these objects are plant leaves in the landscape. This water produced through condensation is called dew, it appears in the early morning hours and if the temperature drops to 0 °C or lower, frost is formed (Barry y Chorley, 1999).

Each plant species responds differently to climatic factors and elements, due to their adaptability to the environmental requirements (Yepes and Silveira, 2011). Regarding the temperature, the thermoperiodicity is referred to the response of plants to the daily temperature fluctuation; Heuveldop, et al. (1986), say that the thermoperiodic behavior of the plants is an adaptation of species to the climate from which it originates.

On the other side, the vendose zone of the atmospheric water, which is the place where the horizontal precipitation occurs, plays a key role in the water cycle because it regulates the water services created in the ecosystem (Torres, 2013). From this vendose zone, water can be filtered to replenish the aquifers and, consequently, the permanence of this water service, mainly because the fog interception capability through the vegetation (Tobón and Girleza, 2007).

The vegetation tends to cool faster than the environment, thus, trees are able to condense water from the humidity in the environment, phenomenon known as horizontal precipitation, in such a way that, on the basis of each plant species cools in different forms, this study was carried out with the aim of identifying if the trees used as shade in coffee plantations are able

Introducción

La precipitación horizontal ocurre a partir de la humedad atmosférica, cuando esta choca con objetos que están por debajo de la temperatura ambiente (Rodríguez, et al., 2004). Generalmente, estos objetos los constituyen las hojas de las plantas que se encuentran presentes en el entorno. Dicha agua producida por la condensación se denomina rocío, que ocurre en las primeras horas de la mañana y si la temperatura desciende a 0 °C o inferiores entonces se forma la helada blanca (Barry y Chorley, 1999).

Cada especie vegetal responde de manera distinta a los factores y elementos climáticos, dada la adaptabilidad propia de las mismas a los requerimientos ambientales (Yepes y Silveira, 2011). En lo que respecta a temperatura, la termoperiodicidad se refiere a la respuesta de las plantas a la fluctuación diaria de la temperatura; Heuveldop, et al. (1986), mencionan que el comportamiento termoperiódico de las plantas es una adaptación de las especies al clima del cual es originaria.

Por otra parte, la franja de condensación del agua atmosférica, que es el lugar donde ocurre la precipitación horizontal, juega un papel importante en el ciclo hidrológico en la regulación de los servicios hídricos que se generan en los ecosistemas (Torres, 2013). Es a partir de esta franja que puede infiltrarse el agua que ayuda a recargar los acuíferos y, por consecuencia, la permanencia de este servicio hídrico, principalmente por la capacidad de interceptación de niebla por la vegetación (Tobón y Girleza, 2007).

La vegetación tiende a enfriar más rápido que el ambiente, así, los árboles tienen la capacidad de condensar el agua a partir de la humedad existente en

to cool faster to condense water from the atmospheric humidity.

Methodological approach

This study was conducted in the cloud forest of the municipality of Pluma Hidalgo, Oaxaca. With an average altitude of 1200 meters above sea level, it is located at the geographic coordinates: 15° 55" LN and 99° 25" LW. According to García (1981) the climate is humid semi-warm, with an average normal temperature of 20 °C and a rainfall of 2 692.3 mm, with abundant rain in summer.

A coffee plantation where a Portable Weather Station was installed with the following meteorological equipment: Laser Thermometer, Skywatch GEOS # 11 station and ratcheting Psychrometer, was selected. In addition to instruments and equipment necessary to the wooded characterization.

Meteorological parameters, atmospheric humidity, ambient temperature, dew point temperature, soil temperature and stem and leaf temperature of some of the main shade trees in coffee plantations were recorded, among them the inga (*Inga* spp. Mill.), mameyito (*Saurauia scabrida* Hemsl.), sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), palo mujer (*Alchornea latifolia* Sw.) and fruit species such as banana (*Musa* spp. L.) and coffee (*Coffea arabica*), for 24 hours with registration every half hour.

The generalized linear model (GLM) was employed by using a gamma distribution, which is characterized by showing a higher amount of events to the left of the mean than to the right and is used to represent a continuous, but only positive dependent variable of events to the left of the mean than to the right and is used to represent a continuous but only positive dependent variable. In this case, the response variable was the temperature.

The model used in the Gamma regression is represented with the following equation:

$$\frac{1}{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$$

Where:

β_0 and β_1 = are constant

X = is a variable that can be continuous or discrete

Note: the estimated parameters where the value of p-

el ambiente, fenómeno conocido como precipitación horizontal, de tal manera que, partiendo de que cada especie vegetal enfría de manera distinta, se realizó el presente estudio cuyo objetivo fue identificar cuales árboles usados como sombra en cafetales tienen la capacidad de enfriar más rápido para condensar agua a partir de la humedad atmosférica.

Enfoque metodológico

El presente estudio se llevó a cabo en el bosque de niebla en el municipio de Pluma Hidalgo, Oaxaca. Con una altitud media de 1200 msnm, ubicado en las coordenadas geográficas: 15° 55" LN y 99° 25" LW. El clima de acuerdo con García (1981) es semicálido húmedo, con una temperatura media normal de 20 °C y una precipitación pluvial de 2 692.3 mm, con abundantes lluvias en verano.

Se seleccionó un cafetal en el cual se instaló una Estación Meteorológica Portátil con el siguiente equipo meteorológico: Termómetro Láser, Estación Skywatch GEOS # 11 y Psicrómetro de matraca. Además de instrumental y equipo necesario para la caracterización del arbolado.

Se registraron los parámetros meteorológicos, humedad atmosférica, temperatura ambiental, temperatura del punto de rocío, temperatura del suelo y la temperatura de tallos y hojas de algunos de los principales árboles de sombra en cafetales, entre ellos cuil (*Inga* spp. Mill.), mameyito (*Saurauia scabrida* Hemsl.), naranjo (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), palo mujer (*Alchornea latifolia* Sw.) y especies frutales como plátano (*Musa* spp. L.) y café (*Coffea arabica*), durante un período de 24 horas con registro cada media hora.

Se empleó el modelo lineal generalizado (Generalized Linear Model, GLM) utilizando una distribución gamma, la cual se caracteriza por presentar una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha y se usa para representar una variable dependiente continua, pero solo positiva. En este caso la variable respuesta fue la temperatura.

El modelo utilizado en la regresión *Gamma* es representado por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$$

Donde:

β_0 y β_1 = son constantes

X = es una variable que puede ser continua o discreta

value was less than a probability of 0.05 ($P < 0.05$) were considered statistically significant.

In order to analyze the data, the Tidyverse (Wickham, 2019), Broom (Robinson and Hayes, 2020) and MuMIn (Bartón, 2019) packages were used, as well as the R version 4.1.2 (R Core Team, 2021) and RStudio version 2021.09.2+382 (RStudio Team, 2022).

Results and discussion

The ambient temperature was related to the leaf temperature of shade trees and coffee. In the coffee plantations of Pluma Hidalgo, Oaxaca, the palo mujer (*Alchornea latifolia*) was the tree that reached lower temperatures, followed by the mameyito (*Saurauia scabrida*), identified as a bird friendly tree, and the coffee (*Coffea arabica*), which has the greater capacity to condense the atmospheric humidity (Figure 1).

Between 23:00 and 05:00 hours the condensation appears, when the ambient temperature reaches dew point, and the leaf temperature drops below the ambient and dew point temperatures. In this case, the results of the Gamma regression analysis through the GLM show a greater degree of association between the temperature with the time variable ($P < 0.05$) by highlighting the palo mujer that cools faster than the other species (Figure 2).

Nota: los parámetros estimados en los que el valor de p -value fue menor a una probabilidad de 0.05 ($P < 0.05$) se consideraron estadísticamente significativos.

Para realizar el análisis de los datos se utilizaron los paquetes Tidyverse (Wickham, 2019), Broom (Robinson y Hayes, 2020) y MuMIn (Bartón, 2019), y se usó el programa informático R versión 4.1.2 (R Core Team, 2021) y RStudio versión 2021.09.2+382 (RStudio Team, 2022).

Resultados y discusión

La temperatura ambiental estuvo relacionada con la temperatura de las hojas de los árboles de sombra y el café. En los cafetales de Pluma Hidalgo, Oaxaca, el palo mujer (*Alchornea latifolia*) fue el árbol que alcanzó las temperaturas más bajas, seguido del mameyito (*Saurauia scabrida*), identificados como árboles amigables con las aves, y café (*Coffea arabica*), teniendo la mayor capacidad para condensar la humedad atmosférica (Figura 1).

Entre las 23:00 y 05:00 horas se presenta la condensación, cuando la temperatura ambiental alcanza el punto de rocío y la temperatura de las hojas descienden por debajo de la ambiental y el punto de rocío. En este caso los resultados del análisis de regresión Gamma mediante el GLM muestran un mayor grado de asociación entre la temperatura con la variable

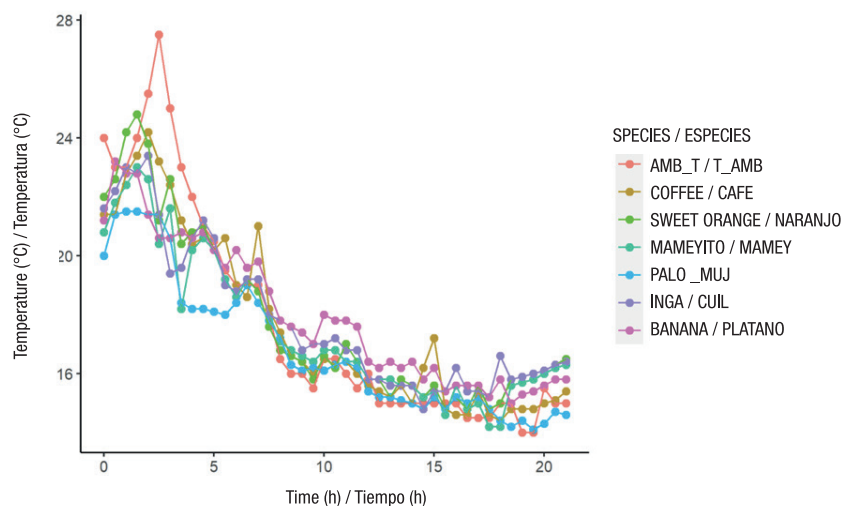


Figure 1. General temperature behavior (°C) through the time (h) for the six tree species, in addition to the ambient temperature in Pluma Hidalgo, Oaxaca.

Figura 1. Comportamiento general de la temperatura (°C) a través del tiempo (h) para las seis especies de árboles, además de la temperatura ambiental en Pluma Hidalgo, Oaxaca.

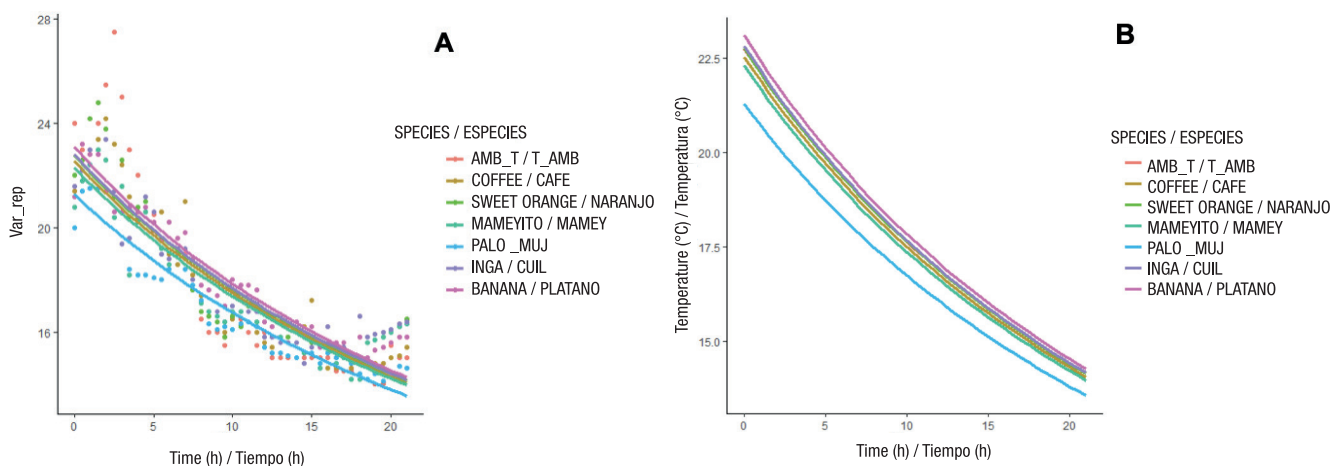


Figure 2. Curves generated from the Gamma regression for the association between the variables of temperature (°C) and time (h) for the tree species (A and B). The points represent the observations for each tree species (A).

Figura 2. Curvas generadas de la regresión Gamma para la asociación entre la variable temperatura (°C) y el tiempo (h) para las especies de árboles (A y B). Los puntos representan las observaciones por cada especie de árbol (A).

In terms of daily temperature variation, Candel (2001) says that the maximum one occurs between 14:00 and 16:00 hours, particularly in summer, otherwise, it occurs when the sun reaches greater height above the horizon. At the same time, the minimum temperature is reached around 6 am, shortly after sunrise.

The change in heat in a place depends on the temperature differences between the sun and the vegetation, being the soil temperature much lower than the ambient temperature, as it is shown in Figure 3 for the coffee plantations of Pluma Hidalgo, it is probably because the vegetation modifies the soil temperature, since it intercepts radiation and reduces evaporation by retaining greater humidity in the soil (Heuvel dop et al. 1986). These authors say that the difference in temperature from the outside to the inside of a vegetation cover is up to 5 % of the total that affects the upper part of the foliage.

In order to regulate the plant temperature, it is necessary to regulate the solar radiation that strikes it because this is the route of heat transmission to the environment (López, 2009).

The plant temperature depends on the air temperature and the physical characteristics of the leaf and its perspiration intensity (Steubing, et al., 2001). The ambient temperature variations create modifications in the plant temperature, which varies depending on the part of the plant (leaf, stem, flower, fruit) and on its physiological state, the perspiration is one of the factors that allows the temperature regulation; for this,

tiempo ($P < 0.05$) destacando el palo mujer que enfría más rápido que el resto de las especies (Figura 2).

En la variación diaria de la temperatura, Candel (2001) menciona que la máxima se presenta entre las 14:00 y 16:00 horas, sucediendo particularmente en el verano, en caso contrario se presenta cuando el sol alcanza mayor altura sobre el horizonte. A su vez, la mínima se produce alrededor de las 6 de la mañana, poco después de la salida del sol.

El cambio que sufre el calor en un sitio depende de la diferencia de temperaturas entre el suelo y la cobertura vegetal, siendo la temperatura del suelo mucho menor que la ambiental, como se muestra en la Figura 3 para los cafetales de Pluma Hidalgo, esto se debe probablemente a que la cobertura vegetal modifica la temperatura del suelo, debido a que intercepta la radiación y reduce la evaporación manteniendo mayor humedad en el suelo (Heuvel dop et al. 1986). Estos autores mencionan que la diferencia de la temperatura del exterior al interior de una cubierta vegetal es hasta de 5 % del total que incide en la parte superior del follaje.

Para regular la temperatura de las plantas, es necesario regular la radiación solar que llega a la misma por ser esta la vía de transmisión de calor al ambiente (López, 2009).

La temperatura de las plantas depende de la temperatura del aire y de las características físicas de la hoja y su intensidad transpiratoria (Steubing, et al., 2001). Las

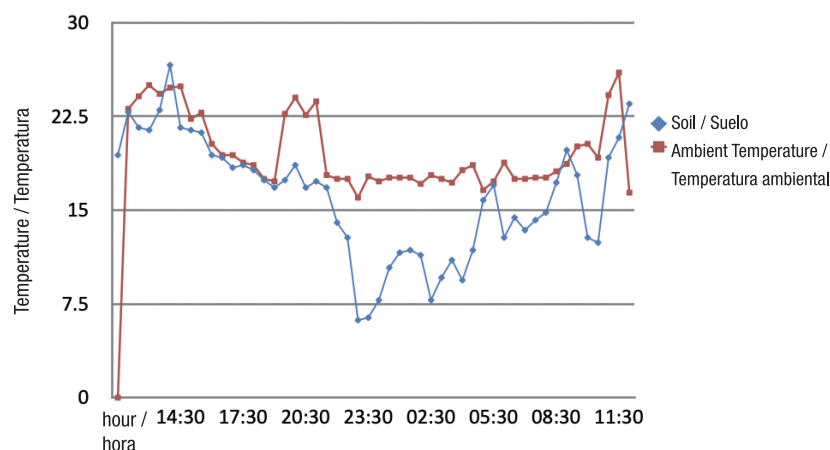


Figure 3. Comparison between the soil temperature and the ambient temperature in Pluma Hidalgo, Oaxaca.
Figura 3. Comparación entre la temperatura del suelo y la temperatura ambiental en Pluma Hidalgo, Oaxaca.

the part of the plant with higher perspiration capacity is the one that can better maintain its thermal regulation, mainly the leaves.

On the other side, the vegetation cover is important for the temperature modification, thus, López (2009) points out that the effect produced by a forest is freshness and humidity, which is attributed to the reduction of ground heating due to the vegetation shades; also, the hatching soil is coolest that the soil from an open area, because the vegetation blocks the laminar air-flow, avoiding heat exchange by convection.

The solar radiation that strikes the soil is interrupted by the vegetation cover for its release, thus, the soil and forest air at night are warmer than in a nearby glade. From there, the ground absorbs the energy of the warmer air above it by cooling the forest air. With the forest perspiration, the microclimate is more humid than in adjacent glades, and the amount of energy needed to raise the temperature of the air is greater (Reed and Mroz, 1997; Ayllón, 2013).

The tree temperature as source of cooling and condensation of humidity.

The tree temperature results from the heat release produced from the metabolism and the absorption and loss of radiant energy, which at the same time, depends on the exposed surface area, on its contact with air and soil and the insulation of its tissues. López (2009), points out the following functions of the vegetation in this process:

1. Perpendicular leaves to the solar rays receive a greater amount of radiant energy.

variaciones de la temperatura ambiental originan modificaciones de la temperatura de la planta, variando según la parte de la planta (hoja, tallo, flor, fruto) y de su estado fisiológico, uno de los factores que permiten la regulación de la temperatura es la transpiración; por lo que, la parte de la planta que tiene la capacidad de transpirar es la que puede mantener mejor su regulación térmica, principalmente las hojas.

Por otra parte, la cubierta vegetal es significativa en la modificación de la temperatura, así, López (2009) señala que el efecto que produce un bosque es de frescura y humedad, atribuyéndoselo a la reducción del calentamiento del suelo debido a la sombra de la vegetación; además, el suelo sombreado es más frío que el de un área abierta, ya que la vegetación interrumpe el flujo laminar del aire, impidiendo el intercambio de calor por convección.

La radiación solar que llega al suelo se ve interrumpida por la cubierta vegetal para su liberación, entonces, el aire del bosque y el suelo durante la noche está más caliente que en un claro cercano. De aquí resulta que el suelo absorbe la energía del aire más caliente arriba de él, enfriando el aire del bosque. Con la transpiración del bosque, el microclima es más húmedo que en los claros adyacentes, y la cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura del aire es mayor (Reed y Mroz, 1997; Ayllón, 2013).

La temperatura del árbol como fuente de enfriamiento y condensación de humedad.

La temperatura del árbol resulta de la liberación de calor que se produce del metabolismo y de la absorción y pérdida de energía radiante, lo cual, a su vez,

2. Open leaves absorb more than the folded ones.
3. The reflection of solar rays on leaves is favored by the pubescence, scales, and thick cuticle.
4. The temperature absorption is higher on the smooth leaf surfaces with thick cuticle.
5. When there are low temperatures, the heat from the water prevents damage at cellular level.
6. The tree temperature ranges from -45°C to 40°C during the day and through the seasons of the year.
7. In the afternoon, the temperature inside a tree can be higher than that of the environment, because during the day it absorbs a large amount of heat that has not had time to lose.
8. On a dry day, the inside of a tree tends to present a lower temperature than the environment, because the heat loss due to intense evapotranspiration.

Based on the above, all trees can condense water. However, due to their physical characteristics, some of them cool faster and, thus, condensate more humidity, in this way, the inhabitants of rural areas identify these trees as water producers, according to the people criteria, this knowledge has been acquired from the expertise in observing this phenomenon. Excepting the banana and inga, the other tree species are below ambient temperature, and they can be considered as good water producers, whose cooling is constant, the palo mujer highlights as the tree that cools faster and the banana as the one with the lower cooling (Figures 4 and 5).

On the other side, the dew on the plant leaves is present throughout the year, but on summer days in which the night temperature does not drop as much, it only appears on the plants that are not directly or excessively exposed to the sun or on the low height leaves. However, according to Steubing et al. (2001) the dew is never enough to exceed a measurable amount of 0.8 mm per night, which does not allow comparison with the levels of millimeters or effects that rain can have on the surface. The temperatures of the different trees behave more or less in the same way, and when developing their projection, the palo mujer and coffee highlight as the species that cool faster (Tables 1 and 2).

depende del área superficial expuesta, de su contacto con el aire y suelo y del aislamiento de sus tejidos. López (2009), señala las siguientes funciones de la vegetación en dicho proceso:

1. Las hojas perpendiculares a los rayos solares reciben una mayor cantidad de energía radiante.
2. Las hojas abiertas absorben más que las plegadas.
3. La reflexión de los rayos solares en las hojas se ve favorecida por la pubescencia, escamas y cutícula gruesa.
4. La absorción de temperatura es mayor en las superficies foliares lisas con cutícula delgada.
5. Cuando ocurren bajas temperaturas, el calor que contiene el agua previene daños a nivel celular.
6. La temperatura del árbol oscila entre -45°C a 40°C durante el día y a través de las estaciones del año.
7. Por la tarde la temperatura interior de un árbol puede ser mayor que la del ambiente, debido a que durante el día absorbe una gran cantidad de calor que no ha tenido tiempo de perder.
8. En un día seco, el interior de un árbol suele tener una menor temperatura que el ambiente, por la pérdida de calor que ocasiona la intensa evapotranspiración.

Partiendo de lo anterior, todos los árboles tienen la capacidad de condensar agua. Sin embargo, debido a sus características físicas, algunos enfrían más rápido y, por lo tanto, condensan más humedad, de esta manera, los habitantes de zonas rurales identifican a estos árboles como productores de agua, según criterios de las personas, estos conocimientos han sido adquiridos por su experiencia en la observación de este fenómeno. Exceptuando al plátano y al cuil, las demás especies de árboles se mantienen por debajo de la temperatura ambiental, pudiendo considerarse como buenas productoras de agua, cuyo enfriamiento se mantiene constante, destacando el palo mujer como el árbol que enfría más rápido y el plátano como el de menor enfriamiento (Figuras 4 y 5).

Por otra parte, el rocío en las hojas de las plantas se presenta durante todo el año, pero en los días de verano en los que la temperatura nocturna no baja tanto,

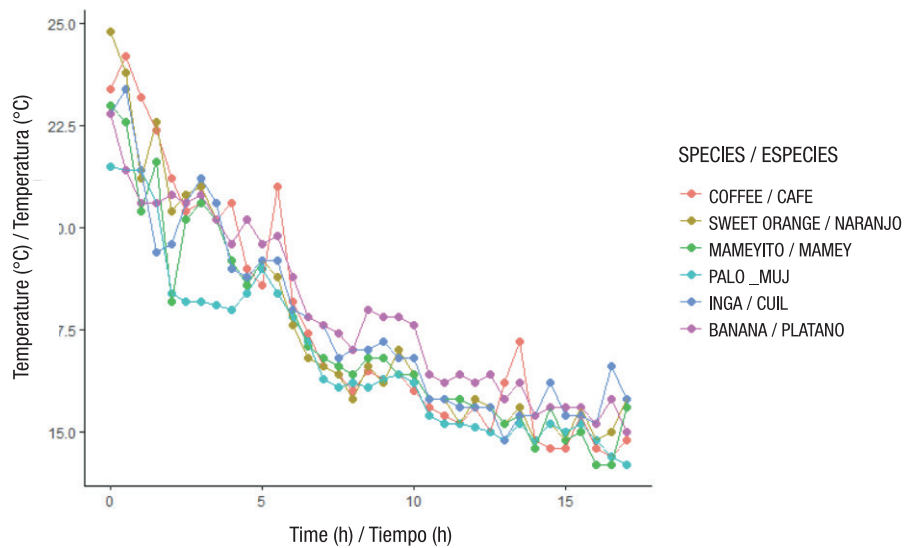


Figure 4. General temperature behavior of the six species in Pluma Hidalgo, Oaxaca.
Figura 4. Comportamiento general de la temperatura de las seis especies en Pluma Hidalgo, Oaxaca.

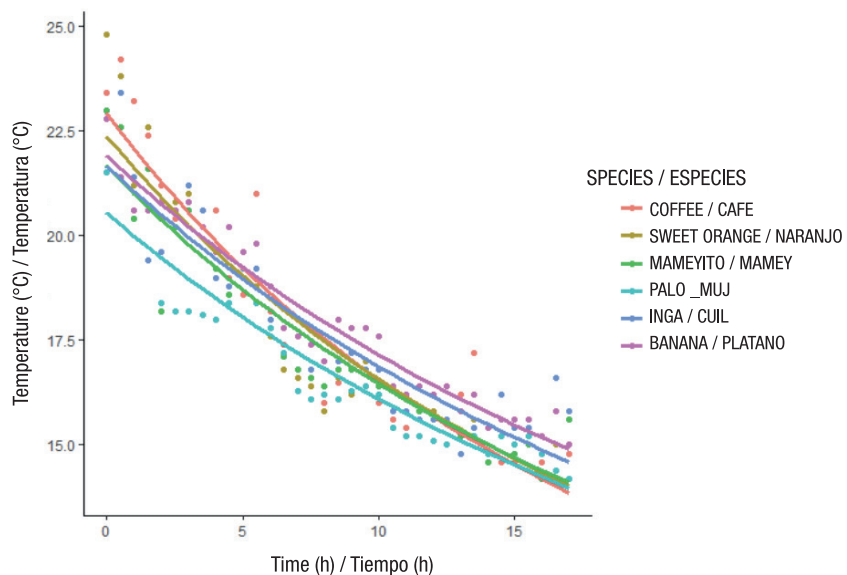


Figure 5. Curves generated from the Gamma regression for the association between the temperature (°C) and time (h) variables for the tree species. The points represent the observations for each tree species.
Figura 5. Curvas generadas de la regresión Gamma para la asociación entre la variable temperatura (°C) y el tiempo (h) para las especies de árboles. Los puntos representan las observaciones por cada especie de árbol.

Table 1. Basic statistical data of temperatures (°C) recorded for the six tree species.**Cuadro 1. Estadísticos básicos de las temperaturas (°C) que se registraron para seis especies de árboles.**

Species / Especie	Average / Media	Standard deviation / Desviación estándar
Coffee / Café	17.6442	3.0023
Sweet orange / Naranja	17.7814	2.8987
Mameyito / Mamey	17.5000	2.5062
Palo mujer	16.8535	2.3528
Inga / Cuil	17.8209	2.4762
Banana / Plátano	17.9930	2.4339

Table 2. Predicted values of the response variable obtained from the Gamma regression model.**Cuadro 2. Valores predichos de la variable respuesta obtenidos a partir del modelo de regresión Gamma.**

Tree species / Especies de árboles	Length of time (h) / Tiempo transcurrido (h)	Temperature predicted values (°C) / Valores predichos de temperatura (°C)	Temperature observed values (°C) / Valores observados de temperatura (°C)
Coffee / Café	17	13.86	14.4
Sweet orange / Naranja	17	14.02	15.8
Mameyito / Mamey	17	14.09	15.6
Palo mujer	17	13.97	14.2
Inga / Cuil	17	14.60	15.8
Banana / Plátano	17	14.89	15.0

Coffee plantations of Pluma Hidalgo are at a latitudinal range where the largest amount of water condensed by horizontal precipitation occurs, according to Tinoco et al. (2009) it ranges from 1 000 to 2 200 meters above sea level. These authors point out that the horizontal precipitation in the mountainous cloud forest from the state of Hidalgo, in this range, the water amount varies from 605 to 870 mm, showing the largest amount in the range 1 400-1 600 m. The ambient humidity presented at the time of temperature recording was about 80 %, considered as high humidity.

In general, the Pluma Hidalgo region is considered wet zone due to the effect of wet air from the Pacific, that when penetrating the mountainous system originates rains that occur during the summer and autumn; in this way, the water amount obtained from the use of fog depends on factors such as: topography of the site, exposure to prevailing winds, wind speed, vegetation cover, among others; the fog leaves water on the branches and the vegetation leaves, as well as on the rocks, with which the forest has abundant humidity, and it explains the physiognomic, ecological, cli-

solo se forma en las plantas que no están expuestas de manera directa o excesiva al calor del sol o en las hojas de baja altura. Sin embargo, según Steubing et al. (2001) el rocío nunca llega a ser suficiente como para sobrepasar una cantidad mensurable de 0.8 mm por noche, lo cual no permite compararse con los niveles de milímetros o efectos que la lluvia puede tener sobre la superficie. Las temperaturas de los diferentes árboles se comportan más o menos de la misma manera, y al realizar la proyección de éstas, destaca igualmente el palo mujer y el café como las especies que enfrían más rápido (Cuadros 1 y 2).

Los cafetales de Pluma Hidalgo se encuentran en el rango altitudinal donde se presenta la mayor cantidad de agua condensada por precipitación horizontal, que de acuerdo con Tinoco et al. (2009) es de los 1 000 a los 2 200 msnm. Estos autores señalan que la precipitación horizontal en el bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo, en este mismo rango, la cantidad de agua varía de 605 a 870 mm, presentándose la mayor cantidad en el rango 1 400-1 600 m. La humedad ambiental que se presentó en

matic and floristic wealth of the coffee eco-system of Pluma Hidalgo and the entire Loxicha region; the agroecosystem maintains and preserves the plant architecture and biodiversity (Cárcamo and Noriega, 2019). This condition allows trees to be a barrier to regional air circulation, where stems, branches and leaves achieve a lower temperature regarding the ambient temperature of areas devoid of vegetation, which favors the condensation of numerous water droplets providing the hydrological environmental service.

Braojos and García (2009) point out that, in the island of Tenerife, in the type of vegetation consisting of the Canary Island pine (*Pinus canariensis*) between 800 and 2 000 meters above sea level, the water condensation capacity is $46 \text{ L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{year}^{-2}$. From which:

$11 \text{ L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{year}^{-1}$ evaporates from the treetops (interception).

$35 \text{ L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{year}^{-2}$ is the water that reaches the soil (effective precipitation).

According to Álvarez (2001), in the Perote region, Veracruz, the forest of *Pinus montezumae* condenses 48 liters of water per hour from the fog, compared with the 57.9 liters per hour reported by Barradas (1983) also for the *P. montezumae* in Las Vigas, Veracruz.

Since the palo mujer cools faster than other shade trees, it can condense more water from the fog, which is especially important mainly during the dry season of the year where the horizontal precipitation is absent.

Conclusions

It is suggested to develop a study about the water amount produced by the horizontal precipitation created by shade trees in the region, this is, to assess permanently the phenomenon of condensation, which would allow to calculate the water amount produced by the fog that is very important to recharge groundwater systems during the dry season and taking into account decision making about the natural resources management.

The palo mujer (*Alchornea latifolia*) cooled faster than the other shade trees in coffee plantations of Pluma Hidalgo, which can favor moisture condensation from the fog.

The meaning of the shade trees in coffee plantations is particularly important, therefore, from the data obtained, if reforestation is conducted in the region, it is suggested to use the palo mujer as the main tree.

End of English version

el momento del registro de las temperaturas fue alrededor del 80 %, considerada como humedad alta.

En general, la región Pluma Hidalgo se considera como región húmeda por el efecto del aire húmedo proveniente del pacífico, que al penetrar al sistema montañoso origina las lluvias que se presentan durante el verano y el otoño; de esta manera, la cantidad de agua obtenida por el aprovechamiento de la niebla depende de factores como: topografía del lugar, exposición a los vientos dominantes, velocidad del viento, cubierta vegetal, entre otros; la niebla deja agua en las ramas y hojas de la vegetación, así como en las rocas, con lo cual el bosque dispone de abundante humedad, explicando la riqueza fisonómica, ecológica, climática y florística del ecosistema cafetalero de Pluma Hidalgo y toda la región de Loxicha; el agroecosistema, mantiene y conserva la arquitectura vegetal y la biodiversidad (Cárcamo y Noriega, 2019). Esta condición permite que el arbolado sea una barrera para la circulación regional del aire, donde tallos, ramas y hojas presentan una menor temperatura respecto a la temperatura ambiental de áreas carentes de vegetación, lo que favorece que se condensen numerosas gotas de agua proveyendo el servicio ambiental hidrológico.

Braojos y García (2009) señala que, en la isla de Tenerife, en el tipo de vegetación compuesta por el pino canario (*Pinus canariensis*) entre los 800 y 2 000 msnm, la capacidad de condensación de agua es de $46 \text{ L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}^{-2}$. De los cuales:

$11 \text{ L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}^{-1}$ se evaporan desde las copas de los árboles (agua de interceptación).

$35 \text{ L}\cdot\text{m}^2\cdot\text{año}^{-2}$ es el agua que llega al suelo (lluvia neta).

Según Álvarez (2001), en la región de Perote, Veracruz, el bosque de *Pinus montezumae* condensa 48 litros de agua por hora a partir de la niebla, comparado con los 57.9 litros por hora reportados por Barradas (1983) igualmente para *P. montezumae* en Las Vigas, Veracruz.

El palo mujer al enfriar más rápido que los demás árboles de sombra puede condensar más agua a partir de la niebla, pudiendo ser de gran importancia principalmente en la temporada seca del año donde la lluvia vertical está ausente.

Conclusiones

Se sugiere realizar un estudio sobre la cantidad de agua producida por precipitación horizontal de los árboles de sombra en la región, es decir, evaluar el fenómeno de la condensación en forma permanente, lo cual permitiría estimar la cantidad de agua producto

Referencias / Referencias

- Álvarez, O. L. R. (2001). *Determinación de turnos para las principales especies de coníferas en la región del Cofre de Perote, Veracruz* (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. Recuperado de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/47291/AlvarezOsegueraLuisR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayllón, T. (2013). *Elementos de meteorología y climatología*. México: Trillas.
- Barradas, V. L. (1983). Capacidad de captación de agua a partir de la niebla en *Pinus montezumae* Lambert, de la región de las grandes montañas del estado de Veracruz. *Biótica*, 8(4), 427-431.
- Barry, R. G., y Chorley, R. J. (1999). *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona, España: Omega.
- Bartón, K. (2019). MuMIn: Multi-Model Inference. Recuperado de: <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Braojos, J. J., y García, S. E. (2009). *Aproximación al cálculo de la lluvia horizontal y a su incidencia en la recarga del Sistema Acuífero de Tenerife*. Canarias, Tenerife. ITOP-INCLAM. Recuperado de: <https://www.aguastenerife.org/images/pdf/ponenciasdocumentos/CalculoLLuviaHorizontal.pdf>
- Candel, V. R. (2001). *Meteorología*. Barcelona, España: Emegé, Industria gráfica.
- Cárcamo, R. B., y Noriega, A. G. (2019). Pago por servicios hidrológicos y biodiversidad al café de sombra para la conservación del bosque de niebla en la región Loxicha, Oaxaca. En: V. Hernández-Trejo, R. Valdivia-Alcalá, J. Hernández-Ortiz, P. R. Cruz-Chávez y Cruz-Chávez, G. R. (Eds.), *Estudios recientes sobre economía ambiental y agrícola en México* (pp. 107-130). México: Universidad Autónoma de Baja California Sur-Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Victor-Hernandez-Trejo/publication/337935379_Estudios_recientes_sobre_economia_EBOOK/links/5df54b5c92851c83647e76be/Estudios-recientes-sobre-economia-EBOOK.pdf#page=108
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México: UNAM.
- Heuveldop, J., Pardo, T. J., Quirós, C. S., y Espinoza, P. L. (1986). *Agroclimatología tropical*. San José, Costa Rica: EUNED.
- López, R. G. F. (2009). *Ecofisiología de árboles*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Reed, D. D., y Mroz, D. G. (1997). *Resource assessment in forested landscapes*. USA: John Wiley & Sons.
- Robinson, D., y Hayes, A. (2020). *Broom: Convert Statistical Analysis Objects into Tidy Tibbles*. Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=broom>.
- Rodríguez, J. R. M., Benito, C. A., y Portela, L. A. (2004). *Meteorología y climatología*. España: Fundación Española para la Ciencia y Tecnología. Recuperado de: <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r120586.PDF>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de: <https://www.R-project.org/>
- de la niebla, de suma relevancia para la recarga de los mantos freáticos durante la época de sequía y tomarla en cuenta en la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales.
- El palo mujer (*Alchornea latifolia*) enfrío más rápido que los demás árboles usados para sombra en cafetales de Pluma Hidalgo, lo cual puede favorecer la condensación de humedad a partir de la niebla.
- La importancia de los árboles de sombra en los cafetales es de gran relevancia, por lo que, a partir de lo obtenido, si se llegasen a realizar reforestaciones en la región, se sugiere emplear el palo mujer como árbol principal.

Fin de la versión en español

RStudio Team. (2022). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC, Boston, MA. Recuperado de <http://www.rstudio.com/>.

Steubing, L., Godoy, R., y Alberdi, M. (2001). *Métodos de ecología vegetal*. Santiago de Chile, Chile: Editorial Universitaria. Universidad Austral de Chile.

Tinoco, R. J. A., Toledo, M. M. L., Carrillo, N. I. J., y Monterroso, R. A. I. (2009). Clima y variabilidad climática en los municipios de Hidalgo con presencia de bosque mesófilo de montaña. En: A. I. Monterroso Rivas (Ed), *El bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo: perspectiva ecológica frente al cambio climático* (pp. 71-98). Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo.

Tobón, C., y Girleza, G. M. E. (2007). Capacidad de interceptación de la niebla por la vegetación de los páramos andinos. *Avances en recursos hidráulicos*, (15), 35-46. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1450/145016897004.pdf>

Torres, B. R. A. (2013). *Características y funciones hidrológicas de los bosques nublados en la provincia de Zamora Chinchipe*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja. Recuperado de: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5217/1/CARACTER%20DSTICAS%20Y%20FUNCIONES%20HIDROL%20GICAS.pdf>

Wickham, H. (2019). *Tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'*. Recuperado de: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>.

Yepes, A., y Silveira, B. M. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (Revisión). *Colombia Forestal*, 14(2), 213-232. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939616005.pdf>

