

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Posgrado en Ciencia de la Tierra con orientación en
Geociencias Ambientales**

**Evaporación y transpiración según tres patrones espaciales y
estacionales en un ecosistema mediterráneo en la subcuenca de El
Mogor, Ensenada, Baja California.**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Radha Adidevi Flores Zavala

Ensenada, Baja California, México
2016

Tesis defendida por
Radha Adidevi Flores Zavala
y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Thomas Gunter Kretzschmar
Director de tesis

Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist

Dr. Rodrigo Méndez Alonzo

Dra. Rufina Hernández Martínez



Dr. Juan García Abdeslem
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Tierra

Dra. Rufina Hernández Martínez
Director de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis de **Radha Adidevi Flores Zavala**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Tierra con orientación en Geociencias Ambientales.

Evaporación y transpiración según tres patrones espaciales y estacionales en un ecosistema mediterráneo en la subcuenca de El Mogor, Ensenada, Baja California.

Resumen aprobado por:

Dr. Thomas G. Kretschmar
Director de tesis

El presente trabajo estudia la relación entre el proceso ecofisiológico de la conductancia estomática y el proceso físico de la evaporación de agua del suelo. Estos factores son importantes para estimar la productividad de un ecosistema y su participación en el aprovechamiento del agua. Para comprender el funcionamiento hidráulico de un ecosistema es esencial estudiar la variación temporal y espacial en estos procesos debido al tipo de plantas, la geomorfología y las condiciones climáticas locales como la precipitación y la humedad relativa. Se muestrearon tres sitios que diferían en pendiente, orientación, suelo y vegetación, en una subcuenca del Valle de Guadalupe, Baja California, México. Se midió la conductancia estomática (G_s) para estimar la transpiración (T) en las ocho especies de plantas más abundantes y se midió la evaporación del suelo desnudo (E). Los muestreos fueron en cuatro temporadas del año: lluvias, secas y sus transiciones por un periodo de 24 h. G_s mostró un rango de 29 a 490 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ y T tuvo un rango de 6 a 1120 $\text{mmol}^{-2}\text{s}^{-1}$. Las tasas de evaporación del suelo fueron de entre 108 y 75 ml por mes. La especie que presentó los valores más altas de transpiración fue *Hyptis emoryi*, y se registraron valores nocturnos en todas las plantas de E y G_s . Este estudio sugiere que las variaciones a nivel de conductancia estomática, transpiración y evaporación están influenciadas por el ambiente y en menor medida por factores fisiológicos propios de la especie y factores hidrofísicos en el caso del suelo.

Palabras Clave: **Transpiración, Evaporación, Conductancia estomática, ecosistemas semiáridos, Valle de Guadalupe.**

Abstract of the thesis of **Radha Adidevi Flores Zavala**, presented as a partial requirement to obtain the degree of Master in Earth Sciences with orientation in Environmental Geosciences.

Evaporation and transpiration in three spatial patterns and seasonal in a Mediterranean ecosystem in the watershed of El Mogor, Ensenada, Baja California.

Abstract by:

Dr. Thomas G. Kretzschmar
Director de tesis

This work focuses primarily on ecophysiological process of the stomatal conductance and the physical process of evaporation of soil water. These factors could determine the productivity of an ecosystem and their participation in water use. To understand the hydraulic functioning of an ecosystem is essential to study the temporal and spatial variation of these processes, given by the plants, the geomorphology and the climate conditions such as rainfall and relative humidity. Three different sites, regarding slope, orientation, soil and vegetation in Valle de Guadalupe watershed, Baja California, Mexico were sampled. Stomatal conductance (G_s) was measured to estimate transpiration (T) in eight species being the most abundant plants in the sites as well as evaporation (E) of the bare soil was measured. The samples were taken during four seasons of the year: the rainy season, the dry season and the two transitions for a period of 24 h each. G_s showed a range of 29-490 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ and T ranged from 6-1120 $\text{mmol}^{-2}\text{s}^{-1}$. The soil evaporation rates were between 108 and 75 ml per month. The species that presented the highest transpiration values was *Hyptis emoryi*. Nightly E and G_s values were recorded in all plants. This study suggests that the variations in terms of stomatal conductance, transpiration and evaporation are strongly influenced by the environment and to a lesser extent by the species own physiological factors and hydrophysical factors in the case of the soil.

Keywords: Transpiration, evaporation, stomatal conductance, semi-arid ecosystems, Guadalupe Valley.

Dedicatoria

A esa energía creadora y vital...

A mi mamá y papá por ser los modelos de vida que pusieron los cimientos, sin ellos éste trabajo no hubiera sido posible.

A mis hermanas por ser mis amigas, confidentes y apoyo en los momentos difíciles y también a mis cuñados por aguantarlas.

A mis amigos que me hicieron reír, llorar, enojarme, pero sobre todo disfrutar y sentir que también son parte de mi familia en Ensenada; Marlyne, Agustín, Oscar, Samantha, Miguel, Brenda, Amalia, Carlos, Israel, José Antonio.

A Luis gracias por compartir conmigo tú amor por los paisajes montañosos y gélidos por mostrarme estos lugares mágicos que desconocía, por tu pasión por la vida, y su sencillez y por los días maravillosos de estancia en tu bella ciudad. Por compartir tu sonrisa conmigo todos los días.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico proporcionado para llevar a cabo la maestría.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE, por su apoyo económico y las facilidades proporcionadas por el centro.

Al Dr. Thomas Kretzschmar por sus consejos e instrucciones a lo largo de este tiempo, así como su confianza y amistad.

A los miembros de mi comité de tesis. Al Dr. Stephen Bullock por su gran ayuda y orientación al momento iniciar la tesis y durante el proceso, a la Dra. Rufina Hernández por el equipo facilitado que fue indispensable para la toma de datos, su tiempo y sus consejos. Al Dr. Rodrigo Méndez por su gran ayuda para el análisis de los datos y su disponibilidad para transmitir su conocimiento.

Al M.C. Francisco del Toro por facilitarme los datos meteorológicos y sus consejos de orientación al momento de elegir los sitios de muestreo. Y al Dr. Cabello por facilitar su equipo para la toma de muestras.

A mis compañeros y personas que me ayudaron a tomar datos en campo que hicieron posible de una manera directa o indirecta esta tesis. Karina, José Luis B, Lars, trabajadores del Mogor, Yoshvani, Thalía, Yohana, Jaime, Borges. Los Diegos, Alin, Mario, Lenin, Claudia, Armando, Karen, Saúl, Enrique, Pipe. En especial a Fernando por ayudarme con los datos.

A Nathalia Badan, por permitirme realizar el trabajo de investigación en el rancho El Mogor.

Tabla de contenido

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
Capítulo 1.....	1
1.Introducción.....	1
1.1 Evapotranspiración.....	2
1.2 Variables relacionadas a la evapotranspiración.....	4
Capítulo 2.....	7
2. Objetivos.....	7
2.1. General.....	7
2.2. Particulares.....	7
Capítulo 3.....	8
3. Materiales y Métodos.....	8
3.1 Descripción del área de estudio.....	8
3.2. Selección de los sitios de muestreo.....	9
3.3 Conductancia estomática y transpiración.....	10
3.4 Evaporación.....	11
3.5 Análisis de Datos.....	13

Capítulo 4.....	14
4. Resultados	14
4.1. Porcentajes de cobertura vegetal	14
4.2 Conductancia estomática y transpiración de las diferentes especies.	15
4.2.1 Riviera	15
4.2.2. Estación	17
4.2.3. Soleado	18
4.3 Tasas de transpiración entre sitios	19
4.3.1. Riviera	19
4.3.2. Soleado	20
4.3.3. Estación	20
4.4. Evaporación.....	22
4.5. Variables meteorológicas.....	23
 Capítulo 5.....	 24
5. Discusión.....	24
5.1 Vegetación de la zona.	24
5.2 Conductancia estomática y transpiración	25
5.3 Evaporación del suelo.....	28
5.4 Conclusiones	29
 Recomendaciones.....	 30
 Lista de referencias bibliográficas	 31

Lista de figuras

1	Localización geográfica de la subcuenca del Mogor, Ensenada, Baja California (Modificada de Google Earth Pro y Siatl INEGI).....	19
2	Vista obliqua de la subcuenca El Mogor, mostrando la ubicación de los tres sitios de muestreo dentro de subcuenta del Mogor (Modificada de Google Earth Pro y Siatl INEGI).....	20
3	A la izquierda se lisímetro con sensor de pH y humedad, a la derecha la báscula portátil tomando la medida del peso.....	22
4	(1) <i>Eriogonum fasciculatum</i> , (2) <i>Fraxinus parryi</i> , (3) <i>Hyptis emoryi</i> , (4) <i>Bahiopsis lancinata</i> , (5) <i>Rhamnus crocea</i> , (6) <i>Quercus agrifolia</i> , (7) <i>Malosma laurina</i> , (8) <i>Salvia apiana</i>	25
5	Tasa de conductancia estomática (Gs) encontrada para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Riviera.....	26
6	Tasa de conductancia estomática (Gs) encontrada para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Estación.....	27
7	Tasa de conductancia estomática (Gs) encontrada para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Soleado.....	28
8	Tasas de transpiración (E) estimadas para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Rivera.....	29
9	Tasas de transpiración (E) estimadas para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Soleado.....	30
10	Tasas de transpiración (E) estimadas para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Estación.....	31
11	Valores máximos de transpiración por especie, utilizados en la ANOVA.....	32

Lista de tablas

1	Cronograma para la toma de muestras (2014) de conductancia estomática y número de individuos por especie en cada sitio durante cada muestreo.....	21
2	Lista de especies encontradas en cada uno de los sitios. Las especies sombreadas fueron las utilizadas en los respectivos sitios para medir conductancia estomática.....	24

Capítulo 1

1. Introducción

Debido a la gran diversidad de climas, topografía, altitud y otros factores, la distribución del agua dulce no es uniforme en todo el planeta. De hecho, en casi el 30% de la superficie global (Rotenberg y Yakir, 2010) y el 40% del territorio mexicano (Challenger y Soberón, 2008), la obtención este recurso es severamente limitada. Los ecosistemas áridos y semiáridos son susceptibles a los cambios que conlleva el cambio climático, especialmente debido a la variación en la precipitación (Heisler-White, Knapp, & Kelly, 2008; Thomey et al., 2011). Regiones semiáridas, con precipitación anual de entre 250 y 500 mm y áridas, con precipitaciones inferiores a los 250 mm, presentan baja disponibilidad hídrica superficial y se caracterizan por perder más agua por evapotranspiración (definida como la suma de la evaporación de un cuerpo superficial de agua y del suelo, más la transpiración de la vegetación) a lo que reciben por precipitación (Kottek, 2006). En esta situación se encuentra gran parte del Estado de Baja California.

El conocimiento de la disponibilidad hídrica es crítico para la economía del Estado de Baja California, ya que en él se encuentra la zona vitivinícola más importante del país (González, 2012), además de grandes extensiones de otros cultivos. Hasta el presente, la demanda del agua en el municipio de Ensenada es obtenida de acuíferos (González, 2012), estos a su vez se nutren de las escasas lluvias de la región, por medio de la infiltración. En esto radica la importancia de entender el balance entre la precipitación y la pérdida del agua a la atmósfera (habiendo poca escorrentía al mar). Globalmente se estima que el 75% del total anual de precipitación que llega a los continentes, retorna a la atmósfera en corto plazo por la evaporación o la transpiración de las plantas (Campos et al., 2013).

En el Estado de Baja California aún se conservan grandes extensiones de vegetación nativa que juega un papel importante en la evapotranspiración de un ecosistema. La vegetación nativa es mucho más eficiente que los cultivos en la asimilación de CO₂; esta asimilación es necesaria para la fotosíntesis pero conlleva a la transpiración (Campos et al., 2013). Por ende, se espera que la estimación de los valores

de evapotranspiración puedan ayudar a estimar la posible recarga del agua subterránea (Zhang et al., 2008; Toews y Allen, 2009) y a su vez dar información acerca del funcionamiento ecofisiológico de los ecosistemas semiáridos.

1.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración tiene importancia para una gran variedad de especialistas científicos como climatólogos, modeladores del clima, ecólogos y fisiólogos vegetales, modeladores de ecosistemas, especialistas en hidrología y reservas hídricas, como también para los planificadores regionales en la elaboración de planes más eficientes y adaptables de riego (Ryu, Baldocchi y Hehn., 2008, Rana y Katerji. 2000).

El fenómeno de la evapotranspiración consta de dos procesos. Uno es eminentemente físico, que es la evaporación (E) que proviene de la humedad del suelo, así como el agua interceptada por la vegetación en la superficie de sus tallos y hojas. El otro proceso es la transpiración (T), un proceso biológico-físico del sistema suelo-planta-atmósfera (Sánchez, 2011). Para que la T suceda, el agua tiene que moverse desde el suelo hasta la raíz luego al tejido foliar por medio del sistema vascular y finalmente a espacios intercelulares en la hoja y hasta los estomas, para ser liberada a la atmósfera.

La E es regulada principalmente por condiciones físicas (humedad, temperatura y textura del suelo, déficit de presión de vapor de agua en el aire cercano al suelo y la cantidad y arquitectura de superficies arriba del suelo. La T, por su parte, está influenciada por un complejo de condiciones, de la atmósfera y del suelo, así como por las características fisiológicas, morfológicas y anatómicas de las plantas, las asociaciones micorrizicas, enfermedades, condición del sistema vascular y las concentraciones de CO₂ y de los nutrientes (Nilsen y Orcutt, 1996, Raz-Yaseef, *Schiller y Cohen.*, 2012). Por estas razones T es una de las variables más difíciles de cuantificar dentro del balance hídrico (Lettenmaier y Famiglietti, 2006).

En la T, las plantas liberan el agua mayormente través de poros llamados estomas, situados en la epidermis, principalmente en el envés de las hojas. Los estomas están conformados por dos células especializadas llamadas células guarda. Estas usualmente

tienen forma de riñón, los cambios en el volumen en el interior de estas células dan lugar a la apertura o al cierre del poro estomático, a su vez los cambios de volumen al interior de la células guarda se ven influenciadas por factores como la luz, la temperatura, la humedad relativa, y la concentración intracelular de CO₂ (Taiz y Zeiger 2006). Las plantas regulan la apertura y el cierre de sus estomas para reducir al mínimo la pérdida de agua, sin embargo la apertura de los estomas es indispensable, ya que permite la absorción de CO₂ necesario para la fotosíntesis (Zeiger, 1983); y el transporte de agua y nutrientes necesario para el crecimiento y mantenimiento. Otro mecanismo de las plantas que permite minimizar la pérdida de agua es la cutícula, una capa impermeable que cubre la superficie de las hojas, la cual es muy eficiente, ya que se sabe que sólo el 5% del agua que se pierde de la hoja, se escapa por la cutícula; en comparación a el 95% que escapa por el aparato estomático (Taiz y Zeiger 2006).

Cada vez más el enfoque ecohidrológico sugiere la importancia de cuantificar los componentes de ET por separado (Huxman *et al.*, 2005). Esto requiere conocer a más profundidad los procesos que subyacen a la utilización del agua de los ecosistemas y su respuesta a la variación climática y condicionamiento por la geología. Algunos estudios refieren que la relación T / ET varía mucho entre los ecosistemas y las escalas de tiempo, en periodos anuales en un rango de 40-70% (Reynolds, Kemp y Tenhunen, 2000, Mitchell Veneklaas, Lambers y Burgess, 2009; Moran *et al.*, 2009; Zhongmin *et al.*, 2009; Cavanaugh Kurc y Scott, 2010; Staudt, Serafimovich, Siebicke, Pyles y Falge, 2011).

La tasa de pérdida de agua de un ecosistema por la ET depende de la energía disponible, la demanda atmosférica de vapor de agua y la disponibilidad de agua del suelo (Seneviratne, *et al.*, 2010). Los cambios en ET de los ecosistemas son comúnmente evaluados indirectamente a través de estudios con lisímetros y a partir de mediciones del balance hídrico (Nyhan, Schofield, y Stamer 1997, Knoche, Schramm y Marski, 2006; Melchior, Sokollek, Berger, Vielhaber y Steinert 2010; Barnswell y Dwyer, 2011) o a través de la modelación numérica (Zornberg, LaFountainy Caldwell, 2003; Preston y McBride, 2004; Bohnhoff, Ogorzalek, Benson, Shackelford y Apiwantragoon, 2009).

La vegetación no siempre dispone de agua suficiente para satisfacer la demanda atmosférica de la evapotranspiración, por lo que tanto Thornthwaite como Penman,

introdujeron en 1948 una distinción entre la evapotranspiración potencial (ETP) y la real (ETR); es decir, aquella que se produce realmente. La ETR expresa el régimen tanto hídrico como energético; toma en cuenta el flujo de calor latente que es la energía proveniente de la radiación neta, la cual es absorbida por el agua para realizar el cambio de estado físico de líquido a vapor, y la disponibilidad de agua dentro del ambiente, es decir, un balance entre la radiación neta y la humedad presente en el medio. Esto difiere de la evapotranspiración potencial, debido a que ETP expresa el régimen energético en donde o cuando la humedad no es un factor limitante. La ETR se puede definir como la tasa máxima de evaporación por un cultivo de una superficie completamente sombreada (Fisher *et al.*, 2011).

1.2 Variables relacionadas a la evapotranspiración

La fotosíntesis y la transpiración están reguladas en parte por la conductancia estomática (G_s) al CO_2 y al agua por sus respectivos gradientes de concentración entre el interior y el exterior de la hoja (ambiente). Lange, Löscher, Schulze y Kappen, (1971) manifestaron que los estomas responden a la humedad; a partir de esto se han realizado muchos estudios que han confirmado la influencia del déficit de presión de vapor (DPV) en la conductancia de los estomas. El DPV es la diferencia entre cantidad de vapor de agua que puede soportar la atmósfera y la que tiene realmente, y está en función de la humedad de relativa y la temperatura. Un alto porcentaje de las plantas reaccionan al aumento del DPV cerrando los estomas (Löcher, 1979, Schulze y Hall, 1982). De esta manera, las plantas se protegen de la desecación y del marchitamiento, permitiendo así la sobrevivencia de las hojas en ambientes secos (Ziemer, 1979; Ritchie, 1981). A su vez la T controla la tasa de absorción de agua del suelo. Según la teoría de Tensión-Cohesión propuesta por Dixon y Joly en 1894, se sugiere que debido la estructura química del agua, las moléculas de ésta tienden a unirse fuertemente por cohesión, lo que da lugar a la acción capilar, y la tensión superficial. Cuando la luz solar incide en una hoja, calienta las moléculas de agua, la evaporación resultante provoca primero una caída de potencial hídrico (Ψ_w) foliar, esto hace que disminuya el potencial de agua en el tallo, que a su vez atrae el agua de la raíz. Estos cambios en el potencial hídrico generan un gradiente que permiten el movimiento ascendente del agua a través del sistema vascular siempre de mayor a menor concentración. El mecanismo del movimiento del agua a través del suelo

hasta la atmosfera no representa un gasto de energía para la planta, ya que se da en respuesta a fuerzas físicas, como la difusión. De esta manera se forma un sistema conformado por suelo-planta-atmósfera (Cochard 2014).

Los estomas funcionan como válvulas que controlan el flujo de salida de agua y entrada de CO₂ (Ludlow, 1980). Se sabe que las plantas abren los estomas en día y los cierran en la noche, movimientos que reaccionan a los cambios en DPV; pero también existen otras variables en que modifican la apertura o cierre de los estomas como el aumento en CO₂. Se dice que la apertura de los estomas es inversamente proporcional a la concentración de CO₂ en el interior de la planta (Squeo y León 2007) y la humedad en el suelo. Zhang *et al.* (2011) Sugirieron que el ácido abscísico, sintetizado por las raíces de algunas plantas, es transportado a la epidermis de las hojas provocando así un déficit de agua en el suelo, lo que provoca en cierre estomático.

El cierre de los estomas va acompañado de un aumento en la temperatura de la hoja, una disminución tanto en la absorción del CO₂ atmosférico como pérdida de agua y en transporte de solutos dentro de la planta (Santos y Ochoa 1990). Estos efectos podrían repercutir en disminución de producción de biomasa de la planta y de crecimiento (Ludlow, 1980; Turner y Begg 1981).

Dicho lo anterior es de suponer que conocer la humedad de agua disponible en el suelo se vuelve una de las variables importantes en los estudios que abortan el tema de la disponibilidad agua. Al igual que en las plantas, en los suelos los valores de potencial hídrico (Ψ_w), nos dan información sobre la cantidad de agua que contienen. Por ejemplo, los suelos muy secos tienden a tener valores de Ψ_w muy negativos. El contenido de agua del suelo y la tasa de movimiento dependen del tipo de suelo y la estructura (Taiz y Zeiger 2006) que está dada por la proporción particular de arena, limo y arcilla de cada suelo.

Cabe señalar que el suelo libera calor latente pues se calienta por irradiación, facilitando la evaporación (Villareal, 2011). También, la agrupación dispersa de la vegetación en mosaicos, característica de los ecosistemas semiáridas, deja al descubierto extensiones de suelo desnudo, lo que facilita la pérdida de agua por evaporación.

La ET es un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera y en establecer estimaciones de la eficiencia de uso del agua, por lo tanto, es importante para la planificación y gestión de recursos hídricos. Mediante un enfoque detallado de las variaciones interespecíficas en T, así como de las variaciones espaciales y temporales en ET podremos realizar inferencias potencialmente extrapolables a todo el ecosistema. El presente estudio se aborda las variaciones en la conductancia estomática en algunas especies y evaporación del suelo y sus relaciones con el medio ambiente, terrestre y atmosférica.

Capítulo 2

2. Objetivos

2.1. General

- Contribuir al entendimiento de la ecohidrología del ecosistema natural en un clima de tipo semiárido mediterráneo en BC por medio de la cuantificación de la evaporación y la transpiración para distintas coberturas vegetales, condiciones geomorfológicas y temporales.

2.2. Particulares

- Estimar la cobertura y las especies vegetales predominantes de la cuenca.
- Determinar los valores de conductancia estomática en ciclos de 24 h en algunas especies plantas dominantes en la zona y, estimar la transpiración correspondiente.
- Determinar las especies que presentan las tasas de transpiración más altas.
- Estimar valores de evaporación del suelo para distintas coberturas vegetales, condiciones topográficas y temporadas en un matorral mediterráneo que permitan comparar las diferencias entre las mismas y con la transpiración.

Capítulo 3

3. Materiales y Métodos

3.1 Descripción del área de estudio

El Valle de Guadalupe (31° 57' 34" a 32° 08' 57" N y -116° 28'05" a -116° 42'14") se localiza en el municipio de Ensenada, Baja California, en el extremo noroeste de la República Mexicana, a una altura de 320 msnm. La subcuenca de El Mogor se encuentra dentro del Valle de Guadalupe, alrededor de las coordenadas 32.030°N, 116.604°W (Figura 1). Este sitio presenta un clima tipo mediterráneo semiárido (BSks) con veranos cálidos y secos, los cuales contrastan con los inviernos más frescos y húmedos. Presenta una temperatura media anual de 18.3°C y una precipitación anual promedio de 289 mm (1980-2010, <http://observatorio.cicese.mx/VdeG/NOAAPRYR.TXT>). La vegetación que presenta la subcuenca se puede dividir en vegetación agrícola (~15%) y nativa (~85%). En términos de la vegetación agrícola, el cultivo de la vid es el más representativo. La vegetación nativa está comprendida por matorral esclerófilo en lomeríos y laderas y algunos pequeños manchones de vegetación riparia en la cañada principal (Del Toro, 2012). El Chaparral es un ecosistema frecuente en las zonas secas de California y Baja California con relieves rocosos y abruptos. Esta dominado por arbustos leñosos perennifolios de altura no superior a los 2 a 3 metros. Esta vegetación está adaptada a la sequía y los incendios y tiene gran capacidad de rebrote (Membrives, 2008).

En el chaparral del Valle de Guadalupe, las especies de planta dominantes son: *Ornithostaphylos oppositifolia*, *Cneoridium dumosum*, *Salvia apiana* y *Hazardia squarrosa* (Del Toro, 2012).



Figura 1. Localización geográfica de la subcuenca del Mogor, Ensenada, Baja California (Modificada de Google Earth Pro y Siatl INEGI)

3.2. Selección de los sitios de muestreo

Se realizaron diversas salidas al campo con el fin de conocer el lugar. Mediante un muestreo discrecional visual, se ubicaron tres sitios en las zonas de mayor diferencia fisonómica vegetación de la cuenca (su localización se observan en la Figura 2). El primero, el cual se denominó “Soleado” se ubicó en la parte norte de la cuenca, en las coordenadas N 32° 2’ 6.55” O 116° 35’ 10.54” y se caracteriza por encontrarse en una pendiente pronunciada con orientación hacia el sur. El segundo, “Estación”, se encuentra al sur de la cuenca en las coordenadas N 32° 1’ 53.89” O 116° 34’ 23.10”, con una pendiente orientación hacía norte. Finalmente el sitio “Riviera” es una planicie que se localiza en la parte noreste de la cuenca siguiendo el cauce principal del arroyo de la subcuenca de El Mogor en las coordenadas N 32° 2’ 26.32” O 116° 34’ 18.06”. Para cada sitio se seleccionaron al menos tres especies vegetales dominantes y se tomaron muestras de las plantas para su posterior identificación. Estas se obtuvieron por medio de un transecto de 50m, en cada uno de los sitios. Los transectos fueron colocados paralelo al cauce central del sitio y de ahí 25 m a la izquierda y 25 m a la derecha; es decir se muestreó un total de 2500m². Se obtuvo el porcentaje de cobertura vegetal total, según el método de Mostacedo y Fredericksen (2000).

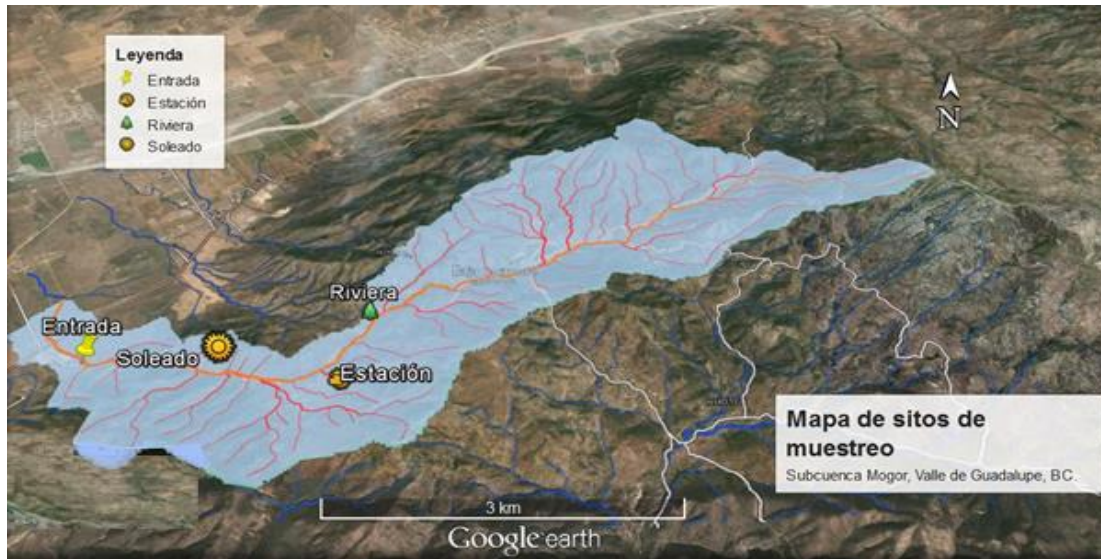


Figura 2. Vista obliqua de la subcuenca El Mogor, mostrando la ubicación de los tres sitios de muestreo dentro de subcuenta del Mogor (Modificada de Google Earth Pro y Siatl INEGI)

La toma de datos se llevó a cabo en las siguientes fechas de acuerdo a la presencia de precipitación: Lluvias, del 29 de abril de 2 mayo 2014; Intermedia: del 4 al 8 de julio 2014; Secas: del 14 al 17 de septiembre 2014.

Las temporadas fueron delimitadas según Villareal (2012), donde el fin de la temporada de lluvias se designa como 21 días después de la última lluvia de <5 mm. Las otras temporadas (Intermedia y secas) se tomaron con una diferencia de aproximadamente dos meses.

3.3 Conductancia estomática y transpiración.

Con la finalidad de medir la conductancia estomática, dentro de cada uno de los sitios (Estación, Soleado, Riviera), una vez determinadas e identificadas las especies dominantes, se seleccionaron entre dos y cuatro especies de plantas (según el sitio) (Figura 1) y se les colocó una marca a cada uno de los individuos. Se seleccionaron 12 individuos por sitio. Se tomaron valores de conductancia estomática, con un porómetro de hoja (modelo SC-1, Decagon Devices, Pullman, WA, USA). Se colectaron datos en cada temporada (Tabla 1). Los datos se tomaron a intervalos de 2 h durante 24 h y en cada uno de los individuos se tomaron dos medidas en la misma hora.

Tabla 1. Cronograma* para la toma de muestras (2014) de conductancia estomática y número de individuos por especie en cada sitio durante cada muestreo.

Temporada/ Sitio	Fecha	Soleado	Estación	Riviera
Lluvias	29 de abril de 2 mayo	2 especies 6 individuos	3 especies 4 individuos	4 especies 3 individuos
Intermedia	4 al 8 de julio	2 especies 6 individuos	2 especies 4 individuos	4 especies 3 individuos
Secas	14 al 17 de septiembre	-----	-----	4 especies 3 individuos

*Las temporadas fueron delimitadas según Villareal (2012), donde el fin de la temporada de lluvias se designa como 21 días después de la última lluvia de <5 mm. Las otras temporadas (Intermedia y secas) se tomaron con una diferencia de aproximadamente dos meses.

También se tomaron medidas de humedad relativa y temperatura con un sensor portátil (EL USB 2, Lascar Electronics, Erie PA, USA), con la finalidad obtener valores para el déficit de presión de vapor (VPD) por sus siglas en inglés y de esta manera estimar la transpiración, mediante las formulas (Buck 1981).

El déficit de presión de vapor de agua es una de las variables más importantes que determinan las tasas de transpiración en las plantas. Este depende principalmente de la humedad relativa y la temperatura y, una vez obtenidos estos valores, se puede hacer una estimación de la transpiración con base en los datos de conductancia estomática obtenidos con el porómetro.

3.4 Evaporación

Para cuantificar la evaporación en cada uno de los sitios se colocó un lisímetro que permitió medir la humedad del suelo por diferencia de peso basado en el método gravimétrico propuesto por Reynolds en 1970. El lisímetro de este estudio fue un cilindro de polietileno liso; tenía una dimensión de 35.5cm de diámetro por 30 cm de largo, uno de los fondos fue totalmente cubierto, el otro totalmente descubierto, éste se rellenó con

el suelo extraído del mismo hoyo en donde se colocó. El peso del lisímetro fue monitoreado por periodos de tiempo para determinar la tasa de evaporación. Para las mediciones de peso se usó una báscula eléctrica portátil marca Torrey) de peso máximo de 50 ± 0.01 g (Figura 3). Los pesos fueron tomados durante cinco meses dos veces al mes.

Para tomar la medida de peso, primero se niveló la báscula, se sacó el lisímetro de su lugar, se colocó sobre la ella, se esperó a que se estabilizará y se hicieron tres mediciones seguidas. La toma me datos se llevó acabo los meses de Marzo hasta Septiembre 2014 dos veces cada mes aproximadamente el día 1 y 15 del cada mes. Para determinar las tasas evaporación mensual los datos se promediaron y se dividió entre el número de meses de muestreo (7). Para obtener el volumen de agua pérdida en ml se usó la ecuación 1.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

Donde:

V= Volumen en ml

m= Masa gr

ρ = densidad del agua



Figura 3. A la izquierda se lisímetro con sensor de pH y humedad, a la derecha la báscula portátil tomando la medida del peso.

3.5 Análisis de Datos

Para determinar diferencias entre diferentes tipos de vegetación o sitios se realizaron análisis de varianza (ANOVA) usando el programa JMP Software, versión 6 (2009, Cary, NC, USA). Las comparaciones se hicieron entre las temporadas de lluvia y las especies; determinando con base en estos el valor del estadístico de prueba. El nivel de significancia (P) asignado para determinar la similitud entre especies en las temporadas fue de $P = 0.05$. Posteriormente, por medio de una prueba *post hoc* (T-Student), se determinó que tratamientos eran los responsables de dichas diferencias.

Capítulo 4

4. Resultados

4.1. Porcentajes de cobertura vegetal

En la Tabla 2 se muestran las especies arbustivas y arbóreas encontradas en los transectos y sus porcentajes de cobertura.

Tabla 2. Lista de especies encontradas en cada uno de los sitios. Las especies sombreadas fueron las utilizadas en los respectivos sitios para medir conductancia estomática.

Sitio	Especie	Nombre común	Abundancia %
Soleado	<i>Eriogonum fasciculatum</i>	Maderista	60
	<i>Bahiopsis laciniata</i>	Margarita	40
Estación	<i>Eriogonum fasciculatum</i>	Maderista	60
	<i>Fraxinus parryi</i>	Fresnillo	20
	<i>Hyptis emoryi</i>	Lavanda de desierto	10
	<i>Malosma laurina</i>	Lentisco	<5
	<i>Salvia apiana</i>	Salvia	
	<i>Adenostoma fasciculatum</i>	Chamizo	
	<i>Artemisia californica</i>	Anís	
	<i>Bahiopsis laciniata</i>	Margarita	
<i>Baccharis salicifolia</i>	Guatamote		
Riviera	<i>Quercus agrifolia</i>	Encino	40
	<i>Malosma laurina</i>	Lentisco	15
	<i>Rhamnus crocea</i>	Spiny Redberry	10
	<i>Eriogonum fasciculatum</i>	Maderista*	20
	<i>Salvia apiana</i>	Salvia	8
	<i>Adenostoma fasciculatum</i>	Chamizo	<7
	<i>Artemisia californica</i>	Anís	
	<i>Fraxinus parryi</i>	Fresnillo	

*Esta población de *Eriogonum fasciculatum* se encontró parasitada por *Cuscuta sp*

El sitio Riviera se encuentra en la orilla del cauce principal del arroyo de la subcuenca del Mogor y se diferenci6 por la presencia de 6rboles. Es el 6nico sitio que tiene una pendiente moderada. Con base en los resultados de porcentaje de dominancia de los transectos se eligieron las especies escritas en la Tabla 2 (ver Figura 4)



Figura 4. (1) *Eriogonum fasciculatum*, (2) *Fraxinus parryi*, (3) *Hyptis emoryi*, (4) *Bahiopsis lancinata*, (5) *Rhamnus crocea*, (6) *Quercus agrifolia*, (7) *Malosma laurina*, (8) *Salvia apiana*.

Fotografias tomadas en el Marzo de 2014 en el sitio de estudio.

4.2 Conductancia estom6tica y transpiraci6n de las diferentes especies.

En la medici6n de intercambio de gases por medio del por6metro se obtuvieron valores de conductancia estom6tica (G_s), para cada especie, hora, temporada del a6o y sitio.

4.2.1 Riviera

La Figura 5 muestra en los ciclos de 24 horas de los valores promedios de conductancia estom6tica ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para cada especie del sitio "Riviera" durante las tres temporadas.

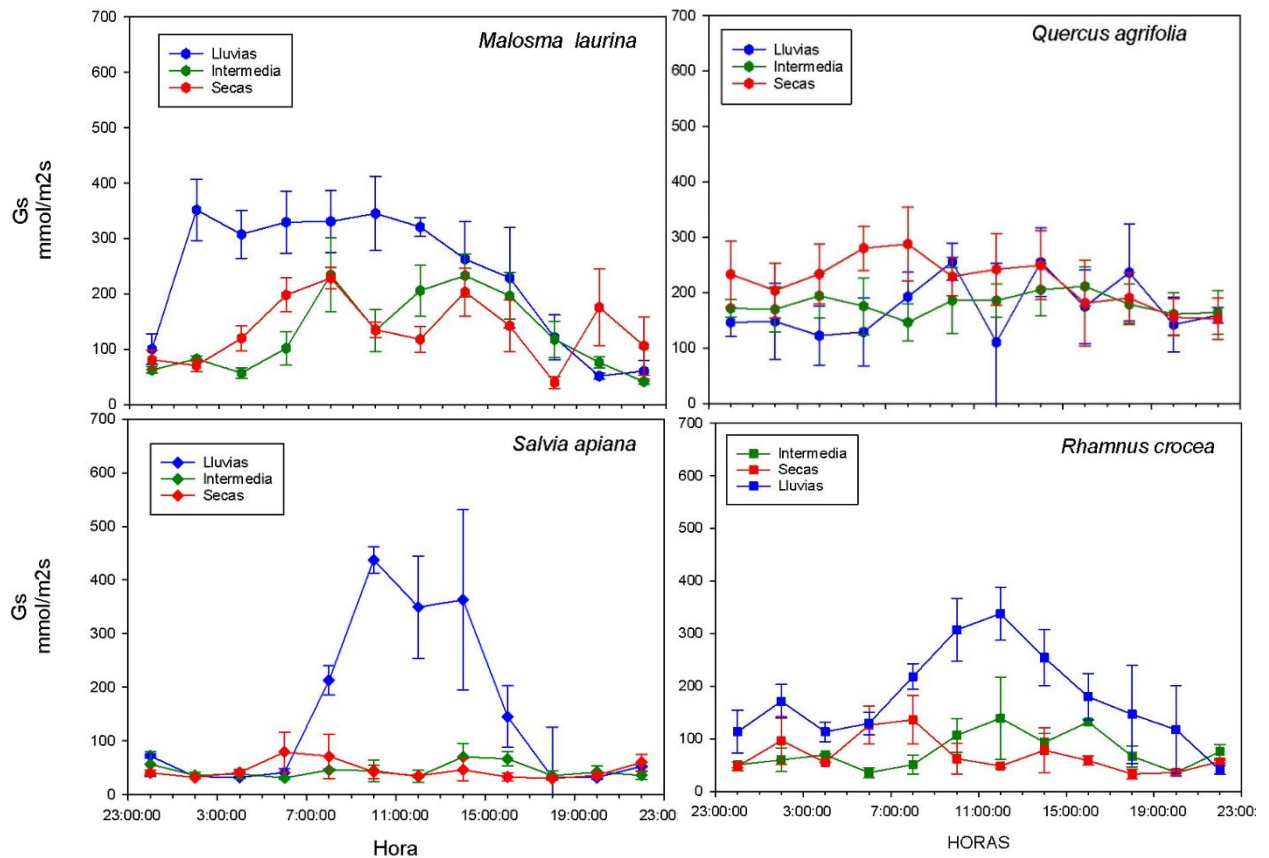


Figura 5. Tasa de conductancia estomática (Gs) encontrada para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Riviera.

En las dos especies de menor altura, *R. crocea* y *S. apiana*, se presentaron ritmos diurnos unimodales pero solamente en la temporada de lluvias. Los valores más altos de conductancia estomática se observaron entre las 10 AM y 3 PM con conductancias máximas de 355.8 mmol m⁻²s⁻¹ para *R. crocea* y 437.8 mmol m⁻²s⁻¹ para *S. apiana* en comparación con las otras especies. *M. laurina* tuvo valores relativamente altos de Gs entre las 2 AM y 2 o 3 PM durante la temporada de lluvias, incluyendo una marcada conductancia nocturna de hasta 400 mmol m⁻²s⁻¹, y patrones bi o trimodales en la temporada intermedia y seca durante el día. *Q. agrifolia* presentó menor variación a lo largo de 24 horas en todas las temporadas pero mayor conductancia en la temporada intermedia que la de lluvias y aún mayor en la de secas.

4.2.2. Estación

Las gráficas de la Figura 6 muestran los ciclos de 24 horas de valores promedio de conductancia estomática ($\text{mmol/m}^2\text{s}$) para cada especie del sitio “Estación” durante las tres temporadas.

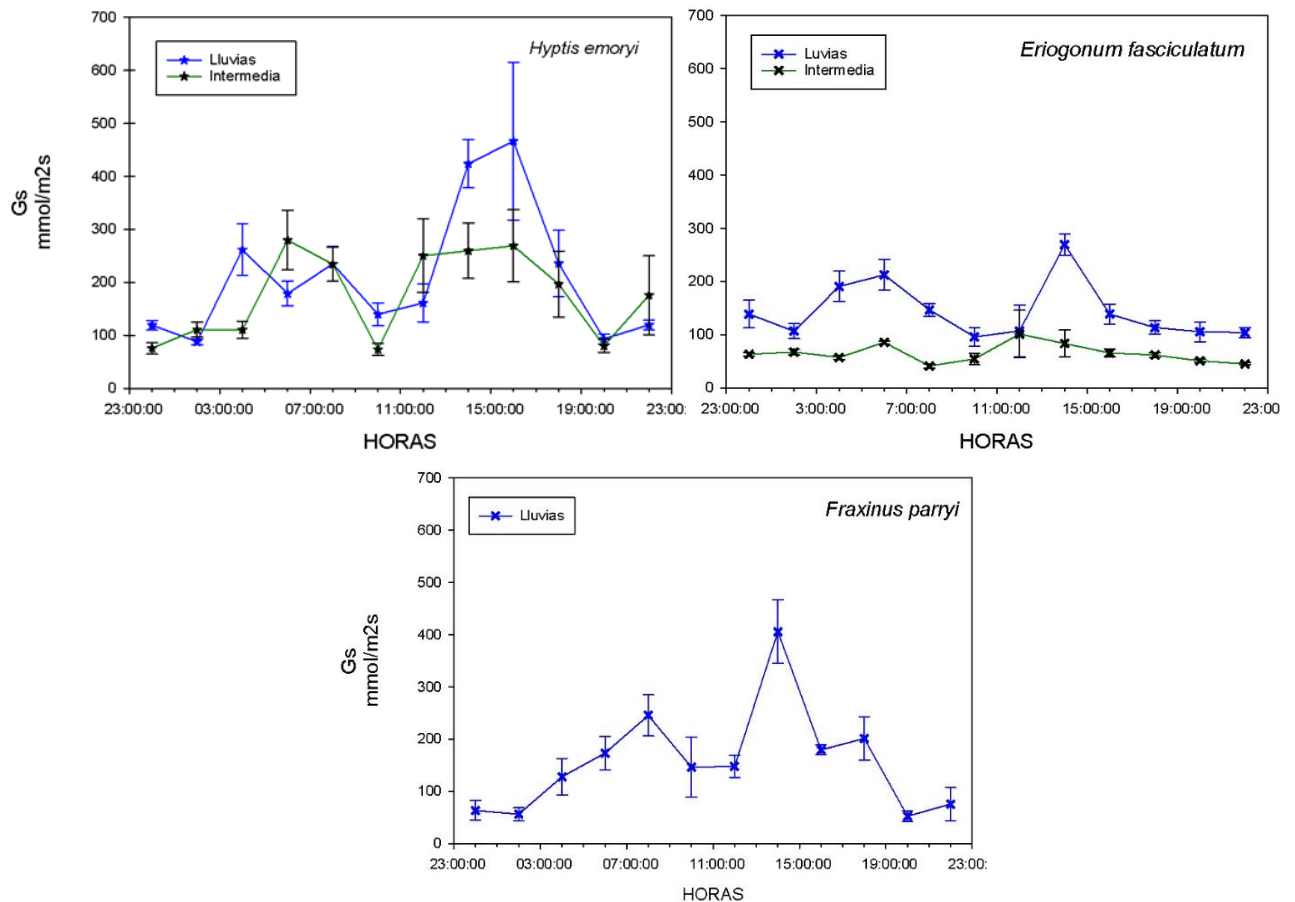


Figura 6. Tasa de conductancia estomática (G_s) encontrada para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Estación

Todas las especies presentaron ritmos diurnos bimodales (aunque ya no había hojas en *F. parryi* en la temporada “intermedia.” *H. emoryi* fue la especie que presentó las tasas más altas de conductancias estomáticas (c. $500 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) respecto al resto de las plantas de este sitio en la temporada de lluvias. Sin embargo todas las especies presentan un máximo de la conductancia entre las 2 PM y las 4 PM.

4.2.3. Soleado

Las gráficas de la Figura 7 muestran los ciclos de 24 horas de valores promedio de conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para cada especie del sitio "Soleado" durante las tres temporadas.

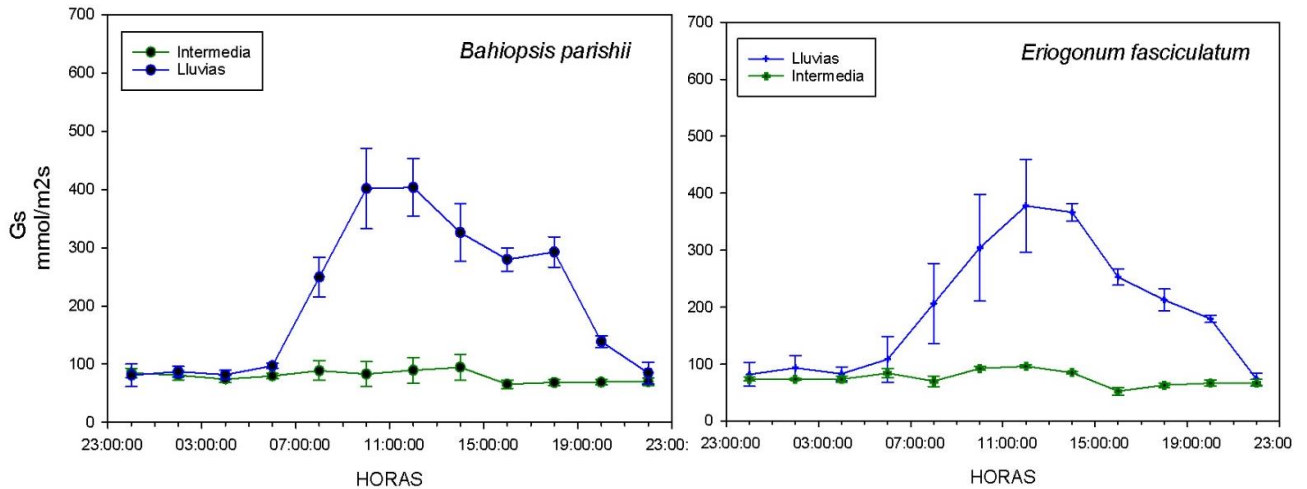


Figura 7. Tasa de conductancia estomática (Gs) encontrada para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Soleado

B. laciniata y *E. fasciculatum* presentaron valores muy semejantes para las temporadas de lluvias con conductancias máximas de entre $370 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $400 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y los valores más altos se presentaron de 8 AM a 6 PM, sin evidenciar un patrón bimodal. También, ambas especies presentaron tasas de conductancia bajas y estables a lo largo de día y de la noche en la temporada intermedia; luego las plantas se secaron, por lo que no se pudieron tomar muestras en la temporada seca.

4.3 Tasas de transpiración entre sitios

4.3.1. Riviera

La Figura 8 muestra los valores de transpiración para cada especie del sitio Riviera. Se puede observar que las plantas presentaron las tasas más altas de transpiración en la temporada seca y a su vez las tasas fueron más bajas en la temporada intermedia seguida por la de lluvias. Este patrón es muy claro para *Q. agrifolia*, alcanzando tasas de $1200 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en secas, 800 en la intermedia y de máximo 200 en lluvias, siempre con una mínima tendencia bimodal y valores máximos más temprano en el día conforme avanzaba el año. En lluvias, las especies mostraron mínima o nula tendencia a bimodalidad y ninguna de las especies de Riviera sostuvo transpiración promedio mayor a $300 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. *M. laurina*, al igual que *Q. agrifolia*, mostró transpiración en lluvias notablemente por debajo comparada con las otras temporadas, pero menor diferencia entre la intermedia y secas.

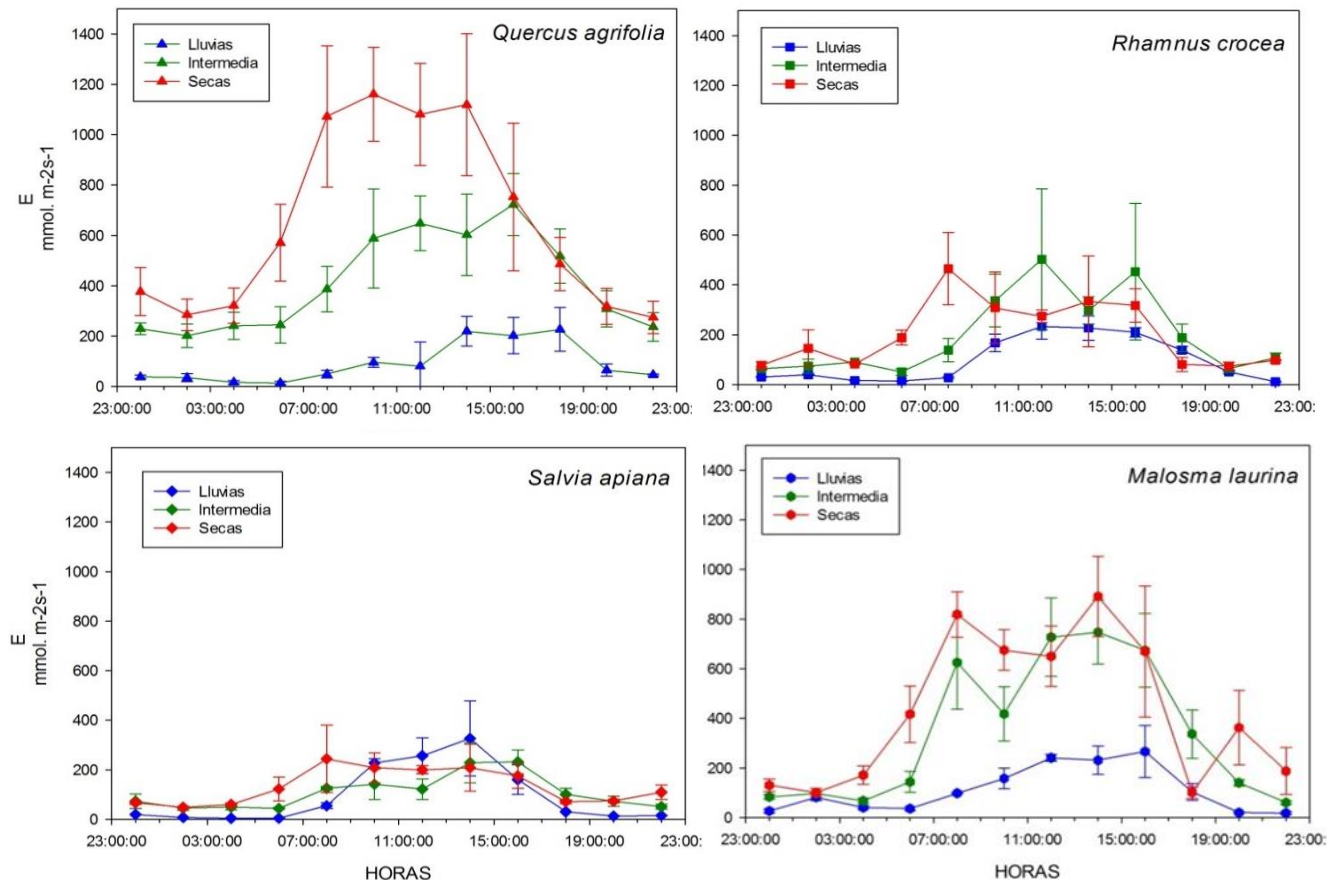


Figura 8. Tasas de transpiración (E) estimadas para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Riviera

La transpiración nocturna fue menor a $200 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en tres de las especies, pero nunca bajo a ese nivel en las temporadas intermedia y seca. Los datos sugieren la posibilidad de un patrón diurno bimodal en algunos casos, más notable en *R. crocea* y *M. laurina* en las temporadas intermedia y seca.

4.3.2. Soleado

La transpiración en el sitio Soleado, presentó una distribución unimodal tanto en la temporada de lluvias como en la intermedia, con tasas de transpiración ligeramente más altas en la temporada de lluvias (Figura 9).

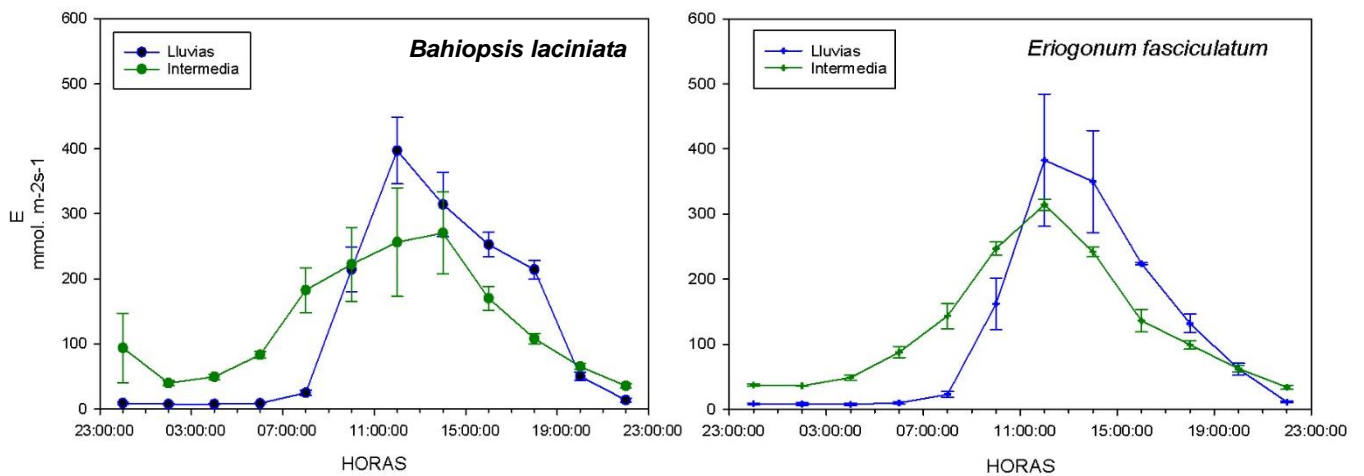


Figura 9. Tasas de transpiración (E) estimadas para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio Soleado

B. laciniata y *E. fasciculatum* presentaron valores máximos similares (382.3 y $402.6 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) en la temporada de lluvias, a mediodía, con un decremento paulatino hasta después de anochecer. En comparación con a la temporada de lluvias, la transpiración en la temporada intermedia fue mayor en la mañana y menor a mediodía y en la tarde.

4.3.3. Estación

La Figura 10 muestra la marcha circadiana y estacional de la transpiración en el sitio Estación. En lluvias, las tres especies mostraron patrones diurnos unimodales pero

desplazados hacia la tarde, con máximos arriba de $500 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en *H. emoryi* y *F. parryi* pero abajo de $400 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ en *E. fasciculatum*. Los patrones fueron bimodales en la temporada intermedia, con mayores valores en la tarde y un gran aumento en la transpiración por *H. emoryi* respecto a la lluvias. En el día de muestreo en la temporada intermedia, las dos especies mostraron otro aumento antes de medianoche.

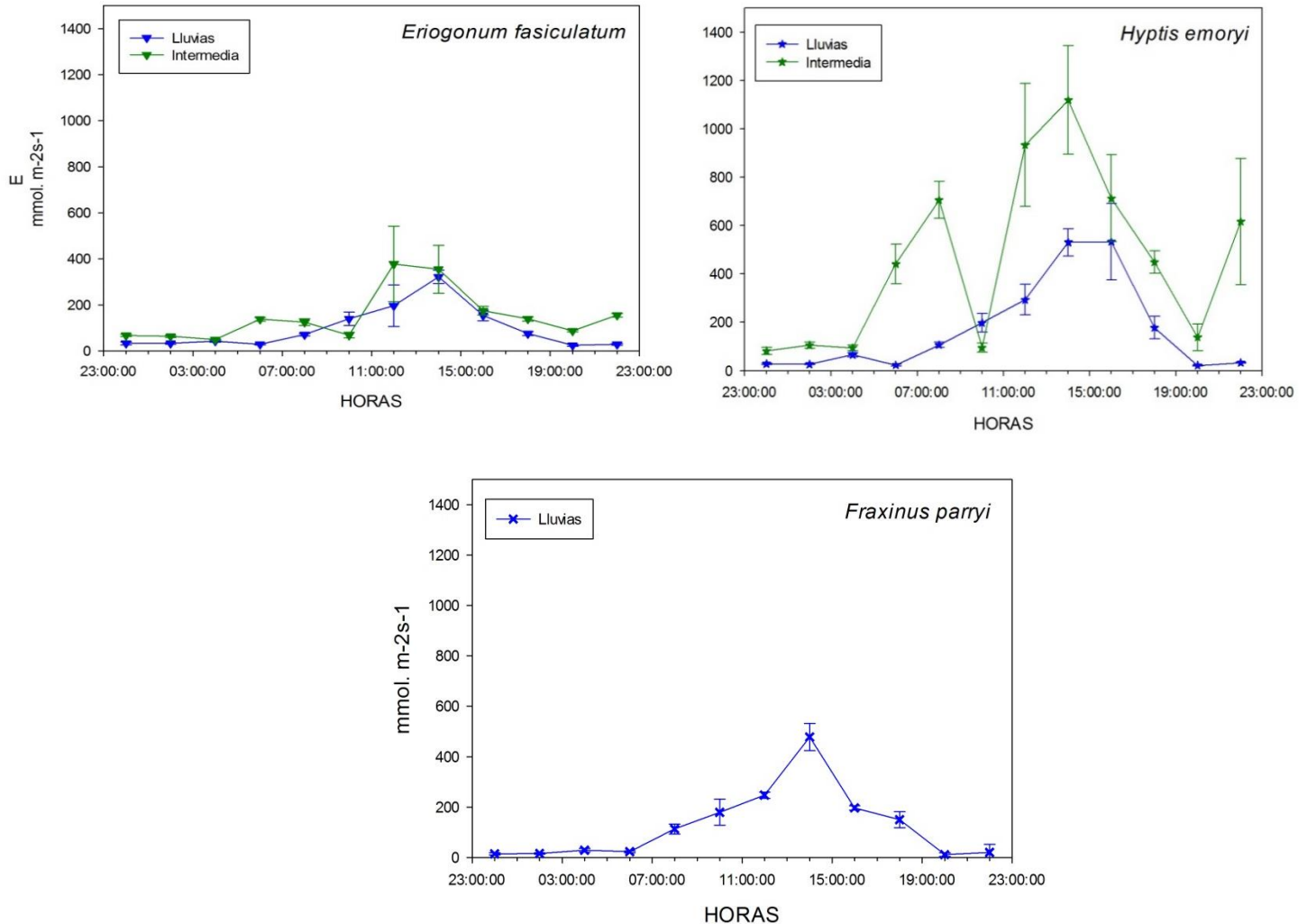


Figura 10. Tasas de transpiración (E) estimadas para cada especie en periodos 24 horas, para cada temporada, para el sitio "Estación"

Se encontraron diferencias significativas entre los valores máximos de transpiración para cada especie de planta sin importar la temporada ($p=0.01$) utilizando una ANOVA de una vía, Las especies presentan valores heterogeneos de T, con un rango de entre los 250 y $750 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 11).

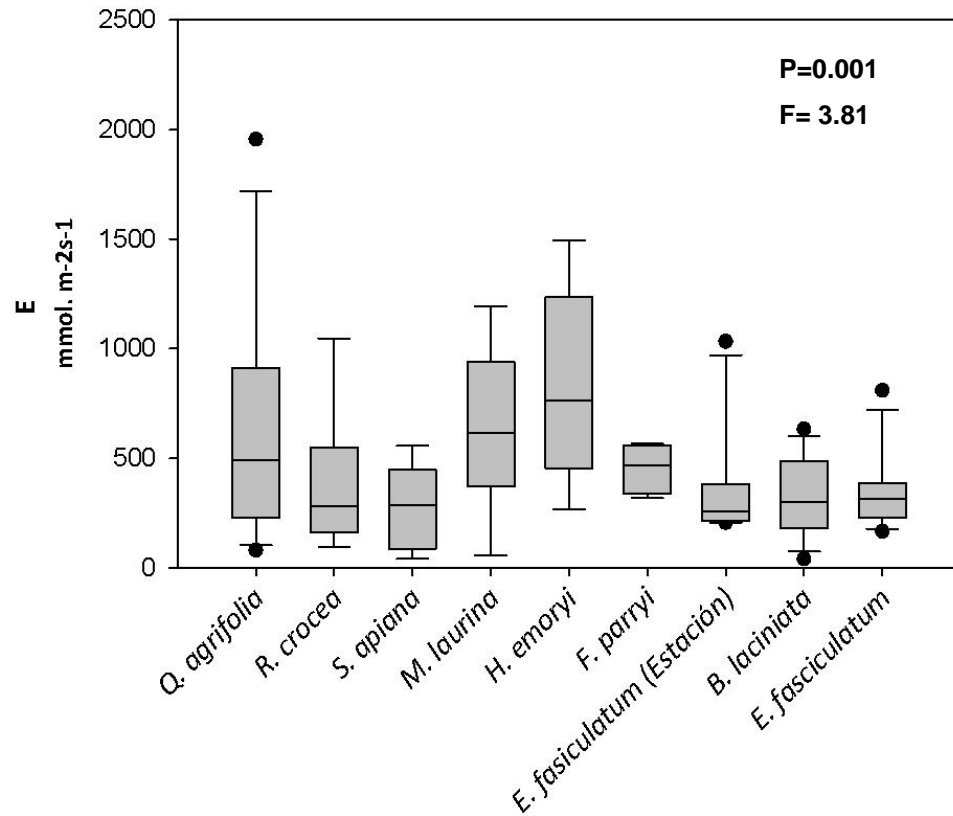


Figura 11. Valores máximos de transpiración por especie, (ANOVA de una vía).

4.4. Evaporación

Los datos arrojados por los cambios de peso de los lisímetros mostraron que la mayor pérdida de peso fue para el sitio "Estación" con 760 g después, el sitio "Soleado" con 600 g y finalmente en sitio "Riviera" con 500 g. Los datos permiten calcular una tasa de evaporación mensual para los meses de Marzo-Septiembre (2014) entre 108.5 y 71.4 ml de agua por 27 Kg de suelo aproximado. Los meses de Julio y Agosto fueron cuando se evaporó la mayor cantidad de agua del suelo, casi el 60 % del peso total perdido en el periodo de medición.

4.5. Variables meteorológicas

Los datos meteorológicos nos permiten conocer las condiciones climáticas particulares del sitio y del año en que se tomaron los datos. En la temporada de lluvias que abarcó de Noviembre del 2013 a Abril del 2014 la estación meteorológica “El Mogor” registró ~132.4 mm de precipitación (siendo, el promedio anual de alrededor de 290 mm). La lluvia más abundante se presentó en el mes de febrero con 52.2 mm (los muestreos se realizaron de abril a octubre). La temperatura promedio anual fue de 18.4°C; la temperatura promedio mínima fue de 12.9°C registrada en febrero y la temperatura máxima fue de 37.9°C en el mes de septiembre. (<http://observatorio.cicese.mx/VdeG/NOAAPRYR.TXT>)

Capítulo 5

5. Discusión

5.1 Vegetación de la zona.

El Mogor es un sitio que presenta condiciones típicas de los climas mediterráneos (Rana y Katerji, 2000, Archer, Hess y Quinton, 2002), Las especies encontradas en este trabajo concuerdan con las principales especies encontradas por Redman y Roberts en 2012, para el chaparral de mediterraneo de Baja California, ellos distinguieron a *Adenostoma fasciculatum*, *Adenostoma sparsifolium*, entre otras menos comunes del genero *Ceanothus*, *Arctostaphylos* y *Quercus*, tambien se pueden encontrar otros arbustos como *Fraxinus parryi*, *Malosma laurina*, *Rhus ovata*, *Rhamnus ilicifolia* etc; esto concuerda con algunas de las plantas encontradas en los tres sitios de muestreo.

El sitio Soleado se caracterizó por sólo contar con dos especies, *Bahiopsis laciniata* y *Eriogonum fasciculatum* a diferencia de las otras zonas de muestreo, También tenía una pendiente pronunciada y radiación solar directa casi a lo largo de todo en día. Se sabe que las condiciones climáticas y topograficas definen las áreas de distribución, los límites de sobrevivencia y los pisos altitudinales de vegetación e influyen, a una escala espacial menor, en la distribución de especies y comunidades (Nahal, 1981, Woodward y Williams 1987, Prentice *et al.* 1992).

En las regiones áridas y semiáridas las pendientes tiene efectos importantes sobre el escurrimiento y la infiltracion (Pilgrim *et al.* 2009). Las pendientes pronunciadas infiltran pequeñas cantidades de agua al suelo, por lo que son ambientes más secos que zonas con pendiente baja. Estas condiciones podrían estar limitando la distribución de otras especies de plantas en el sitio soleado. Además, el 2014 fue aun año particularmente muy seco, lo que podría haber llegado a repercutir directamente en el marchitamiento no sólo de las plantas del sitio Soleado sino también de *Eriogonum fasciculatum* y *Fraxinus parryi* en el sitio “Estación”.

5.2 Conductancia estomática y transpiración

Las tasas de conductancias estomáticas fueron variables para cada especie de plantas en las diferentes temporadas. Para todas las especies, excepto *Quercus agrifolia*, se pudieron observar tasas más bajas de transpiración en la temporada de lluvias en comparación con la de otras épocas del año (Intermedia y Secas); sin embargo, la conductancia estomática fue mayor en temporada de lluvias para prácticamente todas las especies, con excepción de *Q. agrifolia*, lo cual puede suponer que la mayor demanda transpirativa es consecuencia de la disminución de la nubosidad después de la temporada de lluvias. En consecuencia, las especies del presente estudio podrían estar ajustando sus tasas fotosintéticas, desde momentos de alta conductancia, desde lluvias, donde la demanda transpirativa es menor, pero hay mayor disponibilidad de agua, hasta el verano, donde la conductancia es forzada por una enorme demanda transpiratoria, ocasionando cierre estomático en algunas especies y utilización de agua de niveles freáticos profundos en el caso de *Q. agrifolia*.

A escala circadiana, este trabajo coincide con Tenhunen *et al.* (1984), quienes sostienen que la reducción en la conductancia estomática es frecuente en árboles esclerófilos durante el período más caluroso del día incluso en ausencia de un significativo déficit hídrico y da como resultado una disminución de la fotosíntesis neta. En este trabajo se encontró una disminución relativa de G_s en la temporada intermedia y más aun en la temporada de Secas, lo cual coincide con la disminución en disponibilidad hídrica en el suelo.

En *Q. agrifolia*, el déficit de presión de vapor podría estar forzando aumentos en las tasas de conductancia estomática en la temporada de secas. En comparación con el resto de especies muestreadas *Q. agrifolia* es el único árbol, por lo que tiene raíces grandes y profundas, por lo cual puede mantener su follaje durante todo el año. Esta especie se encuentra distribuida solamente a lo largo del arroyo principal de la cuenca, por ello podría tener mayor acceso al agua que el resto de los arbustos. Estos factores le permiten seguir teniendo tasas altas de transpiración a través del año, incluso entradas las temporadas secas.

En este estudio se puede observar que la transpiración para el sitio “Riviera” en la temporada de secas en 3 de las 4 especies muestreadas (*Malosma laurina*, *Quercus agrifolia* y *Rhamnus crocea*) es altamente variable e incluye sustanciales tasas de conductancia nocturna. La transpiración (T) se estimó en este trabajo tomando en cuenta tanto DPV como Gs. El aumento en T en conductancias estomáticas relativamente bajas. En consecuencia, los estomas estarían ejerciendo un control a corto plazo según las adaptaciones y posibles aclimaciones de las plantas. Debido a lo anterior, se sugiere que algunas especies en este sitio, en particular *Q. agrifolia* tuvieron suficiente humedad disponible en el suelo para satisfacer la demanda evaporativa de la atmósfera incluso en verano.

En este tipo de ecosistema existe una alta variabilidad en estrategias de adquisición de recursos por plantas. En el caso de especies perenifolias se encontró que presentan menor variabilidad estacional en conductancia estomática que las deciduas, las cuales, por sus cortos períodos de vida, tienen que maximizar la Gs y y la T en el período en el que mantienen hojas (Canadell y Zedler 1995). Las especies deciduas como *F. parryi*, se ven obligadas a maximizar su intercambio de gases por períodos cortos de tiempo. En contraste, las perenifolias tienen alta variación (aunque no muy significativas) en gs y T, como es el caso de *Malosma laurina*, *Rhamnus crocea*, *Hyptis emoryi* y *Q. agrifolia*, en esta última probablemente en respuesta al nivel freático en donde los encinos adquieren agua.

Para las plantas presentes en los sitios “Soleado” y “Estación” las tasas de transpiración son un poco más altas en la temporada de lluvias que en la temporada intermedia, además que estas cambian durante el transcurso del día, y la temperatura diurna va en aumento. Este comportamiento se observa claramente en *B. laciniata*, *H. emoryi* y *E. fasciculatum* (sitio Soleado).

De acuerdo con Cole (1967) se sabe que las plantas del género *Eriogonum* son sensibles a la sequía; por lo que la transpiración se reduce bastante pronto, casi finalizando la temporada de lluvias, además, Cole (1967) afirmó que existe una relación entre el hábitat donde se localiza y la transpiración, principalmente basado en las características de la

humedad del suelo: las tasas de transpiración bajan conforme a la humedad del suelo disminuye esto al parecer le confiere una estrategia exitosa ya que es la especie que más abunda en los tres sitios muestreados. En el sitio "Soleado" las hojas de *E. fasciculatum* se marchitaron durante el verano debido a la sequía severa y en el sitio "Estación" *Fraxinus parryi* sólo resistió el clima durante la temporada de lluvias. No se encontró una diferencia notable entre las tasas de conductancia estomática más altas de las especies, pero si una heterogeneidad entre las tasas máximas de transpiración. Sin embargo, la mayoría de estos datos presentan "outliers" lo que representa una variabilidad muy amplia entre datos y debilita la interpretación estadística.

Adicionalmente, 2014 fue el año más seco registrado para la zona de estudio, lo cual puede comprometer la supervivencia incluso de especies con altos controles estomáticos. Dado que 2015 fue un año aún más seco, es probable que las plantas de la región enfrenten mortalidad masiva, un tema que amerita futura investigación

Los resultados reflejan una fuerte influencia de los factores ambientales en la transpiración. Es cierto que la transpiración depende en gran medida de la propia fisiología pero también se ha desarrollado una gran variedad de fórmulas para la estimación de la evaporación de la vegetación que se basa totalmente en las variables meteorológicas (por ejemplo, Thornthwaite, 1948; Penman, 1948; Turc, 1954; Priestley y Taylor, 1972) y no se toman en cuenta en todas las propiedades de las de especies. Estas reconocen una relación más estrecha entre la transpiración con la temperatura del aire y la humedad relativa (Nobel, 1975) entre otras variables ambientales.

En la escala de la hoja, una suposición que se sostuvo a lo largo del tiempo dice que los estomas se cierran por la noche en la ausencia de luz, ya que bajo estas condiciones no se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis y por ende la transpiración no ocurre (Caird *et al.* 2007) Si bien en este trabajo, tanto G_s como T , denotan una disminución por la noche ninguna de éstas llegó a cero. Algunas investigaciones aseguraron que la transpiración ocurre durante toda la noche en una variedad de tipos de vegetación (Fisher, Baldocchi, Mission, Dawson y Goldstein., 2007; Dawson *et al.*, 2007).

5.3 Evaporación del suelo.

La cantidad de energía disponible en el entorno, por lo general en la forma de radiación solar, influye sustancialmente en la evaporación del agua, ya que ésta calienta las moléculas de agua de la superficie y de esta manera se libera a la atmosfera (Tanner, 1957; Allen, Pereira, Raes y Smith 1998). Las temperaturas más altas se presentan en el verano y en los meses de julio y agosto se evaporó entre 50% y el 70% del total del agua del suelo perdido en el periodo de estudio.

Sin embargo, la evaporación no es un proceso que sólo depende de la condición de la atmósfera circundante, pero también depende de las propiedades hidrofísicas de suelo (Flumingan, Faria y Lena, 2011). Según la carta edafológica INEGI 1:250,000, el tipo de suelo se clasifica como feozem háplico con una de textura media a fina; éstos son suelos con conductancias hidráulicas relativamente altas (Del Toro, 2012).

El sitio Riviera presentó el porcentaje más alto de pérdida agua, por evaporación con una reducción del 4.4% del peso inicial pese a que aparentemente no es el sitio que recibe mayor radiación solar. Ninguno de los lisímetros presentó una reducción o aumento medible en el peso debido a la evaporación a lo largo de 24 h. Esto no necesariamente implica que no haya fluctuaciones de peso a lo largo del día: la sensibilidad de la báscula (10 g) puede ser por debajo el rango necesario. Por las noches, aumentaba la humedad relativa y se podía distinguir un cierta húmeda en el suelo. Esta podría deberse a aporte de humedad proveniente de la niebla y/o del rocío, el cual complementaría el déficit de agua. Estos patrones ocurren principalmente en ecosistemas áridos y semiáridos próximos a la costa (Agam y Berliner, 2006), ya que la humedad para estos sitios se encuentren influenciada por la presencia de neblinas generadas por las surgencias del océano Pacífico (Zaytsev, Cervantes-Duarte, Montante y Gallegos-García, 2003). Este evento de recarga de suelo podría ser importante para la transpiración, ya que la humedad en el suelo puede ser una factor que limite la transpiración (Javis y McNaughton, 1986).

También se debe tomar en cuenta la temperatura del suelo, ya que la temperatura del suelo es un importante factor en la limitación de la transpiración, porque conforme la temperatura aumenta la tasa de evaporación desciende rápidamente (Whitfield, 1932).

5.4 Conclusiones

- ❖ Existen fluctuaciones considerables tanto en la tasa de transpiración como en conductancia estomática a lo largo del día, que puede reflejar una respuesta constante e inmediata de aclimatación de las plantas de este ecosistema mediterráneo a la demanda evaporativa atmosférica.
- ❖ Si bien las características fisiológicas de cada una de las especies juegan un papel importante en la determinación de la cantidad de agua que se va liberar a la atmósfera (en este caso principalmente la apertura o cierre de los estomas), las condiciones meteorológicas ejercen una presión importante sobre la vegetación que la obliga a modificar su funcionamiento fisiológico, que en muchas ocasiones puede llevar a la desecación.
- ❖ Incluso en ausencia de luz las plantas continúan transpirando, pero en menor grado que en horarios donde la radiación solar está presente, esto como una aclimatación de las hojas influenciadas por DPV. Los resultados de este trabajo amplían la evidencia de transpiración nocturna en ambientes semiáridos, y sugieren que este fenómeno puede expandirse a ambientes donde la DPV sea alta.
- ❖ La disponibilidad de agua en el suelo es factor fundamental en estas plantas, las escasas precipitaciones que se presentaron en la temporada de lluvias del 2014 produjeron la desecación prematura de algunas especies.
- ❖ Los meses en los que se presenta las tasas más altas de evaporación en el suelo son julio y agosto en los cuales se perdió entre el 50 y 70% del total durante el experimento.
- ❖ La peculiaridad fisiológica, fenología y geomorfológica de cada especie hace difícil extrapolar al sistema.

Recomendaciones

- Mantener muestreos continuos, al menos 3 en cada sitio y por cada temporada, así como por varios años con fin que de poder observar el comportamiento a lo largo del tiempo y con variaciones de precipitación anuales.
- Montar micro estaciones meteorológicas con el fin de contabilizar variables puntuales para casa sitio como precipitación, radiación, temperatura y humedad relativa.
- El uso del porómetro en el cálculo de la transpiración vegetal es recomendable en los trabajos donde sea preciso determinar valores en periodos cortos y cuando se toma en cuenta la diferencia entre especies, sin embargo este presenta desventajas si se trata de un número muy grande de muestras o si la plantas tiene hojas muy pequeñas o fasciculadas, ya que aumenta considerable el tiempo de toma de cada dato.
- Este método es especialmente útil en cultivos de invernadero ya facilita el monitoreo y las variables climáticas están más controladas que en condiciones silvestres, evitando rocío, lluvia, humedad excesiva que puedan dificultar la toma de datos y/o calibración del equipo ya que puede demorar hasta una hora en condiciones adversas.



Lista de referencias bibliográficas

- Agam, N. and Berliner, P.R., (2006), Dew formation and water vapor adsorption in semiarid environments: a review. *Journal of Arid Environments* 65 (4), 572-590.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 300 p.
- Archer N., Hess T. and Quinton, J., (2002), The water balance of two semi-arid shrubs on abandoned land in South-Eastern Spain after season rainfall. *Hydrology & Earth System Sciences*. 6 (5), 913-926, doi:10.5194/hess-6-913-2002
- Barnswell, K. D. and Dwyer, D. F. (2011) Assessing the Performance of Evapotranspiration Covers for Municipal Solid Waste Landfills in Northwestern Ohio, J. *Journal of Environmental Engineering*, 137(4), 301–305, doi:10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000326.
- Bohnhoff, G. L., Ogorzalek, A. S., Benson, C. H., Shackelford, C. D., and Apiwantragoon, P. (2009). Field data and water-balance predictions for a monolithic cover in a semiarid climate, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(3), 333–348, doi:10.1061/(asce)1090 0241(2009)135:3(333)
- Buck, A. L. (1981). New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. *Journal of applied meteorology*, 20(12), 1527-1532.
- Caird, M. A., Richards, J. H., and Donovan, L. A. (2007). Nighttime stomatal conductance and transpiration in C3 and C4 plants. *Plant Physiology*, 143(1), 4-10.
- Campos I., Villodre J., Carrara A., A Calera. (2006) Remote sensing-based soil water balance to estimate Mediterranean holm oak savanna (dehesa) evapotranspiration under water stress conditions. *Journal of Hydrology*. 494,1–9.
- Canadell, J., and Zedler, P.H., (1995) *Underground structures of woody plants in mediterranean ecosystems of Australia, California, and Chile*. En: Arroyo MTK, PH Zedler & MD Fox (eds) Ecology and biogeography of Mediterranean ecosystems in Chile, California, and Australia: 177-210. Springer- Verlag, New York,
- Cavanaugh, M.L., Kurc, S.A. and Scott, R.L. (2010). Evapotranspiration partitioning in semi-arid shrubland ecosystems: a two-site evaluation of Soil moisture control on transpiration. *Ecohydrology*. doi: 10.1002/eco.15
- Challenger, A. y Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. *Capital natural de México*. CONABIO. 1:87-108.
- CLICOM. (Sin año) *Base de Datos Climatológica Nacional*. Recuperado del 01 al 04 de julio de 2015 <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Cochard, H. (2014). The basics of plant hydraulics. *Journal of Plant Hydraulics*, 1, e0001.
- Davis J. C. (1973). Statistics and analysis in geology. John Wiley & Sons. 74-80p.

- Dawson, T.E., Burgess, S.S.O., Tu, K.P., Oliveira, R.S., Santiago, L.S. Fisher, J.B., Simonin K.A., and Ambrose A.R., (2007). Nighttime transpiration in woody plants from contrasting ecosystems. *Tree Physiology*. 27(4),561–575.
- Del Toro Guerrero FJ. (2012). *Cuantificación del aporte hidrogeológico de la subcuenca el Mogor a la recarga del acuífero del Valle de Guadalupe, B.C.* Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 118p.
- Dixon H.,and Joly J. (1894). On the ascent of sap. *Proceeding of the royal society of London*. 57, (340-346) 3-5.
- Fisher J.B., Whittaker R. J., Malhi Y., (2011). ET come home? potential evapotranspiration in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*. 20(1),1-18. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00578.x
- Fisher, J.B., Baldocchi, D.D., Mission, L., Dawson, T.E and Goldstein, A.H., (2007). What the towers don't see at night: nocturnal sapflow in trees and shrubs at two AmeriFlux sites in California. *Tree Physiology*. 27(4),597–609.
- Flumignan, D. L., DaFaria, R., and Lena, B. P. (2012). Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. *Engenharia Agrícola*, 32(1), 80-90. Recuperado en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01006916201200010009&lng=en&tlng=en.
- González Ramírez J. (2013). *Monitoreo y modelado de la respuesta del nivel freático ante eventos de precipitación en el acuífero de Valle de Guadalupe, B.C.* Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 75 pp.
- Heisler-White, J. L., Knapp, A. K. and Kelly, E.F. (2008). Increasing precipitation event size increases aboveground net primary productivity in a semi-arid grassland. *Oecologia*. 158(1), 129-140.
- Huxman, T.E., Snyder, K.A., Tissue, D., Leffler, A.J., Ogle, K., Pockman, W.T., Sandquist, D.R., Potts, D., Schwinning, S. (2004). Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia* 141, (2) 254-268.
- Huxman, T.E., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Scott, R.L., Snyder, K.A., Small, E.E., Hultine, K., Pockman, W.T. and Jackson, R.B., (2005). Ecohydrological implications of woody plant encroachment. *Ecology* 86(2), 308–319.
- Knoche, D., Schramm, A., and Marski, R. (2006). Hydrological properties of a double-layer soil cover system for uranium mining dumps in Eastern Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 52, (1) 37-43. doi:10.1080/03650340500421281.
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *MeteorologischeZeitschrift*. 15(3), 259-263.
- Lange, O. L., Lössch, R., Schulze, E. D., and Kappen, L. (1971). Responses of stomata to changes in humidity. *Planta*, 100(1), 76-86.

- Lettenmaier, D. P., and Famiglietti, J. S. (2006), Water from on high, *Nature*, 444(7119), 562– 563.
- Lösch, R. (1979). Stomatal responses to changes in air humidity. *Structure, function and ecology of stomata*, 189-216.
- Ludlow, M. M. (1980). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. (pp.123-138). Wiley and Sons, New York
- Melchior, S., Sokollek, V., Berger, K., Vielhaber, B., and Steinert, B. (2010). Results from 18 Years of In Situ Performance Testing of Landfill Cover Systems in Germany, *Journal of Environmental Engineering*, 135(8), 815–823, doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000200.
- Mitchell, P.J., Veneklaas, E., Lambers, H., Burgess, S.S.O., (2009). Partitioning of Evapotranspiration in a semi-arid eucalypt Woodland in south-western Australia. *Agriculture and Forest Meteorology* 149,(1) 25–37.
- Moran, M.S., Scott, R.L., Keefer, T.O., Emmerich, W.E., Hernandez, M., Nearing, G.S., Paige, G.B., Cosh, M.H., O'Neill, P.E. (2009). Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil Surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(1), 59–72.
- Mostacedo B y Fredericksen T S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia.
- Nahal, I. (1981). *The Mediterranean climate from a biological view- point*. Pp. 63– 86. In: Di Castri, F., Goodall, D. W. & Specht, R. L. (eds), Mediterranean-type shrublands. Elsevier, Amsterdam.
- Nilsen, E.T. y Orcutt, D.M. (1996). *Physiology of plants under stress*. Abiotic factors. (704) John Wiley and Sons, New York.
- Nobel, P.S. (1991). Achievable productivities of certain CAM plants: basis for high values compared with C3 and C4 plants. Tansley Review No. 32. *New Phytologist*. 119(2), 183-205.
- Nyhan, J. W., Schofield, T. G., and Starmer, R. H.(1997) A water balance study of four landfill cover designs varying in slope for semiarid regions, *J Journal of Environmental Quality*, 26(5), 385-1392.
- Penman, H. L., (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Royal Society of London A: Mathematical*, 193(1032), 120–145.
- Prentice, I.C., Cramer, W., Harrison S.P., Leemans, R., Monserud, R.A., and Solomon, A., (1992). A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties, and climate, *J. Biogeography*., 19, 117-134.
- Preston, G. M. and McBride, R. A. (2004). Assessing the use of poplar tree systems as a land-fill evapotranspiration barrier with the SHAW model. *Waste Management and Research*, 22(4), 291–305, doi:10.1177/0734242x04045429

- Priestley, C. H. B., y Taylor, R. J. (1972), On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100,(2) 81–92 Recuperado de: <http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/100/mwr-100-02-0081.pdf>
- Rana G., Katerji N. (2000) Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy*. 13(2), 125–153
- Raz-Yaseef, N., Yakir, D., Schiller, G., and Cohen, S. (2012). Dynamics of evapotranspiration partitioning in a semi-arid forest as affected by temporal rainfall patterns. *Agricultural and Forest Meteorology*, 157, 77–85.
- Rebman, J. and N. Roberts. 2012. *Baja California Plant Field Guide*, (3rd. ed). San Diego Natural History Museum Publication. 451pp.
- Reynolds, J.F., Kemp, P.R. and Tenhunen, J.D., (2000). Effects of long-term variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan Desert: a modeling analysis. *Plant Ecology*. 150(1-2), 45–159.
- Ritchie, J. T. (1981). Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. *Soil Water and Nitrogen in Mediterranean-Type Environments*, 81-96.
- Rotenberg, E. and Yakir, D. (2010). Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*. 327(5964),451–454.
- Ryu, Y. D. D. Baldocchi, S. Ma and Hehn, T. (2008), Interannual variability of evapotranspiration and energy exchange over an annual grassland in California, *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2007JD009263.
- Santos Díaz, M. S y N. Ochoa Alejo. (1990). Adaptación de las plantas al déficit hídrico. *Ciencia*. 41: 333-340.
- Schulze, E.D., and Hall A. E. (1982) .Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. In *Physiological Plant Ecology II*, 12, 181-230. Springer Berlin Heidelberg.
- Seneviratne, S., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E.J., Lehner, I., Orlowsky, B. and Teuling A. J. (2000) Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*. 99(3-4), 125-161.
- Squeo, F.A. y León, M. F., (2007). *Transpiración en Fisiología Vegetal*. Squeo & Cardemil, eds. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. (pp. 67-84)
- Staudt, K., Serafimovich, A., Siebicke, L., Pyles, R.D. and Falge, E., (2011). Vertical structure of evapotranspiration at a forest site (a case study). *Agricultural and Forest Meteorology* 151(6), 709–729.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. (2a. ed.) Sinauer Associates, Sunderland, (764), Massachusetts, USA.
- Tanner, C.B. (1957). Factors affecting evaporation from plants and soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 12, p.221-227.

- Tenhunen JD, Lange O.L., Gebel, J., Beyschlag, W., and Weber J.A., (1984). Changes in photosynthetic capacity, carboxylation efficiency, and CO₂ compensation point associated with midday stomatal closures and midday depression of net CO₂ exchange of leaves of *Quercus suber*. *Planta* 162(3), 193-203 doi:10.1007/BF00397440
- Thomey, M; Collins S., Vargas, R., Jhonson, J., Brown, R., Natvig. D. O., and Friggens. M. T. (2011) Effect of precipitation variability on net primary production and soil respiration in a Chihuahuan Desert grassland. *Global Change Biology*. 17(4),1505-1515.
- Thorntwaite C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. 38, (1),55-94.
- Toews, M. W. and Allen, D. M. (2009) Evaluating different GCMs for predicting spatial recharge in an irrigated arid region. *Journal of Hydrology* 374, (3–4), 265–281.
- Turner N.C., Begg J.E. (1981). Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant and soil*. 58(1-3) 97-131.
- Whitfield, C. J.. (1932). Ecological Aspects of Transpiration. II. Pike's Peak and Santa Barbara Regions: Edaphic and Climatic Aspects. *Botanical Gazette*, 94(1), 183–196.
- Woodward F.I and Williams B.G (1987) Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio* 69: 189-197. Springer Netherlands.
- Zaytsev O., Cervantes-Duarte R., Montante O., and Gallegos-Garcia A. (2003) Coastal Upwelling activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*, 59(4), 489- 502.
- Zeiger, E. (1983) The biology of stomatal guard cells. *Annual Review of Plant Physiology*, 34(1), 441–474.
- Zhang, B. Z., Kang, S. Z., Li, F.S and Zhang L. (2008). Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148(10), 1629-1640.
- Zhang, Y., Kang, S., Ward, E.J., Ding, R., Zhang, X., and Zheng. R., (2011). Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: dynamics and influential factors. *Agricultural Water Management*, 98 (8),1207–1214. doi:10.1016/j.agwat.2011.03.006
- Zhongmin, H., Guirui, Y., Yanlian, Z., Xiaomin, S., Yingnian, L., Peili, S., Yanfen, W., Xia, S., Zemei, Z., Li, Z., Shenggong, L., (2009). Partitioning of evapotranspiration and Its controls in four grassland ecosystems: application of a two-source model. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(9), 1410–1420.

- Ziemer, R.R. (1979). Evaporation and Transpiration. *Reviews of Geophysics and Space Physics*. 17 (6), 1175-1186.
- Zornberg, J. G., LaFountain, L., and Caldwell, J. A. (2003). Analysis and design of evapotranspirative cover for hazardous waste landfill, *J. Geotech. Geoenviron.*, 129(5), 427–438.