

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**“CARACTERIZACIÓN DEL MICROCLIMA Y LA VEGETACIÓN PTERIDOPHYTA, EN
EL SOTOBOSQUE DEL BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO SUBTROPICAL
DEL PARQUE NACIONAL CERRO VERDE, SANTA ANA, EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

CÉSAR ATILIO RODRÍGUEZ ESCOTO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, ABRIL DEL 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**“CARACTERIZACIÓN DEL MICROCLIMA Y LA VEGETACIÓN PTERIDOPHYTA, EN
EL SOTOBOSQUE DEL BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO SUBTROPICAL
DEL PARQUE NACIONAL CERRO VERDE, SANTA ANA, EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

CÉSAR ATILIO RODRÍGUEZ ESCOTO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

DOCENTE ASESOR:

LIC. CARLOS ALBERTO ELÍAS ORTÍZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, ABRIL DEL 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**“CARACTERIZACIÓN DEL MICROCLIMA Y LA VEGETACIÓN PTERIDOPHYTA, EN EL
SOTOBOSQUE DEL BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO SUBTROPICAL DEL PARQUE
NACIONAL CERRO VERDE, SANTA ANA, EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

CÉSAR ATILIO RODRÍGUEZ ESCOTO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

TRIBUNAL CALIFICADOR:

LIC. CARLOS ALBERTO ELÍAS ORTÍZ

LIC. JOSÉ NAPOLEÓN CANJURA LÓPEZ

LIC. DAGOBERTO RODRÍGUEZ DELCID

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, ABRIL DEL 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



**"CARACTERIZACIÓN DEL MICROCLIMA Y LA VEGETACIÓN PTERIDOPHYTA, EN EL
SOTOBOSQUE DEL BOSQUE MUY HÚMEDO MONTANO BAJO SUBTROPICAL DEL PARQUE
NACIONAL CERRO VERDE, SANTA ANA, EL SALVADOR"**

PRESENTADO POR:
CÉSAR ATILIO RODRÍGUEZ ESCOTO

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

TRIBUNAL CALIFICADOR:

LIC. CARLOS ALBERTO ELÍAS ORTÍZ

LIC. JOSÉ NAPOLEÓN CANJURA LÓPEZ

LIC. DAGOBERTO RODRÍGUEZ DELCID

Tres firmas manuscritas en tinta azul, correspondientes a los miembros del tribunal calificador mencionados en el texto adyacente.

CIUDAD UNIVERSITARIA SAN SALVADOR, ABRIL DEL 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MTRO. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

VICERRECTOR ACADÉMICO

DR. MANUEL DE JESUS JOYA ÁBREGO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

ING. NELSON BERNABÉ GRANADOS

SECRETARIO GENERAL

LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FISCAL GENERAL

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANO

LIC. MAURICIO HERNÁN LOVO CÓRDOVA

VICEDECANO

LIC. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA APARICIO

DIRECTORA ESCUELA DE BIOLOGÍA

M.Sc. ANA MARTHA ZETINO CALDERÓN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre Rosa Celina Escoto de Rodríguez, a mi padre Luis Atilio Rodríguez Echeverría, a mis hermanos Luis Everaldo Rodríguez Escoto, Kevin Alexander Rodríguez Escoto y José Luis Rodríguez, por todo lo que me han dado y hemos compartido.

Agradezco a mi abuelita Celia Orbelina Flores por ayudarme y acompañarme durante mi época de estudios y los tíos y primos que me apoyaron de alguna medida en mi proceso de formación académica.

Agradezco a los docentes que me instruyeron, al jurado que me calificó, a mi asesor de tesis el Lic. Carlos Alberto Elías Ortiz, por su invaluable ayuda, aceptándome como estudiante tesista y dándome las respectivas asesorías durante el desarrollo de mi trabajo de graduación.

Agradecimientos para los que fueron mis amigos en este período Raquel Alvarado Larios, Jeniffer Guerra, Diego Galán, Maythe Morán, Juan Carlos Vargas, Carlos Pacheco, Karla Zaldaña, Néstor Ruballo, Lucía Sánchez, Sofía Solórzano, Ernesto Mendoza, Ricardo Chicas, Lupe Segovia, , Marcela Puro, Aquilino García, Gloria Morán, Sarita Cáceres y Edgar López, que aunque la vida da vueltas y no sabemos que nos depara el futuro, durante este tiempo fueron un importante pilar de apoyo en mi crecimiento personal, emocional, intelectual y profesional.

Agradecimientos a mis colegas y compañeros Gabriel Cerén, Pablo Galán, Dagoberto Rodríguez, Johanna Segovia, Abizaí Clemente, Gretel Fonseca, Rafael Alvarado, Nelson Alemán, Lili Quintanilla, Jenny Amaya y Jonathan Saade que me ayudaron brindándome información o apoyándome en mi investigación.

Finalmente agradezco al ISTU, por permitirme realizar mi investigación en el Cerro Verde, a la Universidad de El Salvador por formarme en mi camino profesional y a todas las personas que me apoyaron directa o indirectamente en todo mi proceso educativo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS.....	4
3. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	5
3.1. Antecedentes	5
3.2. Climatología.....	7
3.3. Microclima del bosque.....	7
3.4. Variables microclimáticas.....	8
3.4.1. Luminosidad y radiación solar	8
3.4.2. Temperatura.....	9
3.4.3. Humedad Atmosférica	9
3.4.4. Viento	10
3.5. Metodología para las caracterizaciones microclimáticas.....	12
3.6. Generalidades de las Pteridophytas	12
3.6.1. Evolución de los helechos	12
3.6.2. Morfología de los helechos.....	13
3.6.3. Reproducción de los helechos	14
3.6.4. Hábitat de los helechos.....	15
3.6.5. Clasificación de los helechos.....	15
3.7. Metodologías utilizadas en los estudios florísticos.....	16
3.7.1. El inventario	16
3.7.2. Cuadrantes	16
4. METODOLOGÍA	17
4.1. Ubicación del área de estudio	17
4.2. Descripción del área de estudio	18
4.2.1. Topografía	18
4.2.2. Clima	18
4.2.3. Suelos.....	20
4.2.4. Zona de vida	21
4.2.5. Ecosistemas de El Salvador	22

4.2.6.	Flora.....	22
4.2.7.	Fauna	22
4.3.	Muestreo y distribución de sitios.	24
4.4.	Toma de datos en campo.....	25
4.4.1.	Período de muestreo	25
4.4.2.	Caracterización de la composición de la vegetación	25
4.4.3.	Caracterización del macroclima y microclima del sotobosque	26
4.5.	Técnicas de análisis.....	28
4.5.1.	Índices de diversidad alfa	28
4.5.2.	Supuestos Estadísticos Paramétricos	29
4.5.3.	Transformación de datos	30
4.5.4.	Análisis de Correspondencia Canónica	31
5.	RESULTADOS	32
5.1.	Comportamiento macro y microclimático promedio horario de la estación lluviosa	32
5.1.1.	Temperatura promedio horaria	32
5.1.2.	Humedad relativa promedio horaria	32
5.1.3.	Velocidad del viento promedio horaria	32
5.1.4.	Luminosidad promedio horaria	32
5.1.5.	Radiación solar promedio horaria.....	33
5.2.	Comportamiento macro y microclimático promedio horario de la estación seca..	36
5.2.1.	Temperatura promedio horaria	36
5.2.2.	Humedad relativa promedio horaria	37
5.2.3.	Velocidad del viento promedio horaria	37
5.2.4.	Luminosidad promedio horaria	37
5.2.5.	Radiación solar promedio horaria.....	37
5.3.	Comportamiento macro y microclimático promedio mensual.....	41
5.3.1.	Temperatura promedio mensual por sitios	42
5.3.2.	Humedad relativa promedio mensual por sitios	45
5.3.3.	Viento promedio mensual por sitios.....	48
5.3.4.	Luminosidad promedio mensual por sitios.....	51
5.3.5.	Radiación solar promedio mensual por sitios.....	53
5.4.	Composición y diversidad de Pteridophyta	56

5.4.1.	Composición taxonómica de Pteridophyta	56
5.4.2.	Hábito de las Pteridophytas registradas.....	57
5.4.3.	Abundancia y riqueza de Pteridophyta por sitios	58
5.4.4.	Diversidad de Pteridophyta	59
5.5.	Composición y diversidad de la vegetación arbórea del dosel	60
5.5.1.	Composición taxonómica de la vegetación arbórea del dosel.....	60
5.5.2.	Índice de valor de importancia en la vegetación arbórea del dosel	61
5.5.3.	Índices de diversidad de la vegetación arbórea del dosel	63
5.6.	Relación entre variables microclimáticas y la abundancia de Pteridophyta	63
6.	DISCUSIÓN.....	65
6.1.	Comportamiento macroclimático y microclimático.	65
6.1.1.	Comportamiento de la temperatura macroclimática pasada y actual.	65
6.1.2.	Comportamiento microclimático diario en época seca y lluviosa.	66
6.1.3.	Comportamiento macroclimático y microclimático mensual.....	67
6.1.4.	Composición y diversidad de Pteridophyta.	69
6.1.5.	Composición y diversidad de la vegetación arbórea del dosel.....	70
6.1.6.	Relación entre microclima y abundancia de Pteridophyta	71
7.	CONCLUSIONES	74
8.	RECOMENDACIONES	76
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
10.	ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Pág No.
1. Parámetros climáticos del Cerro Verde con una vigencia de siete años de medición (MAG 1987).....	18
2. Distribución espacial y temporal de las tomas de las lecturas microclimáticas.....	27
3. Valores promedio horarios correspondientes a la estación lluviosa. Datos tomados para las fechas 24, 25 y 26 de septiembre del 2016.....	33
4. Valores promedio horarios correspondientes a la estación seca. Datos tomados para las fechas 26, 27 y 28 de enero del 2017.....	38
5. Valores promedio mensuales para cada una de las variables, divididas en los tres sitios de toma de datos microclimáticos.....	41
6. Composición taxonómica y abundancia de Pteridophyta, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	56
7. Hábito de los individuos de Pteridophyta muestreados en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	57
8. Abundancia y riqueza por sitios muestreados, de las especies Pteridophyta en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	58
9. Resultados obtenidos de los índices analizados de la vegetación Pteridophyta en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	59
10. Resultados obtenidos de los índices analizados por sitios de muestreo de la vegetación Pteridophyta, en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	60
11. Resultados obtenidos de la vegetación arbórea del dosel, estudiadas en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	61
12. Tabla con las abundancias y frecuencias de los individuos de las especies muestreadas en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	62

13. Resultados obtenidos de los índices analizados de la vegetación arbórea del dosel en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde..	63
14. Números correlativos de las especies empleadas para el análisis de correspondencia canónica.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Pág No.
1. Perfiles verticales de variación de las variables de estado. TA: temperatura del aire. HA: humedad atmosférica. V: velocidad del viento. L: luminosidad: trazo continuo, día; trazo discontinuo en puntos, noche; trazo discontinuo en líneas, día y noche (Sanz 2004).	8
2. Variación de la insolación y temperatura del aire durante el día (Pareja 2008).....	9
3. Circulación diurna y nocturna del viento en el bosque (Heuvel dop 1986).	11
4. Intercambio energético al interior del bosque durante el día y la noche. 1. Flujo de agua desde el suelo. 2. Débil flujo de calor sensible y latente desde el dosel al fondo del bosque. 3. Radiación neta en el dosel. 4. Débil flujo de calor sensible y latente desde el fondo del bosque al dosel. 5. Superficie radiante. 6. El dosel con temperatura nocturna baja (Pareja 2008).....	11
5. Morfología de un helecho común (Delgado 2006).	13
6. Ciclo reproductivo sexual de un helecho isospórico (Delgado 2006).....	14
7. Clasificación del grupo de las plantas Pteridophytas. (Elaboración propia basado en Monterrosa et. al. 2009).	15
8. Ubicación geográfica del Parque Nacional Cerro Verde, departamento de Santa Ana, El Salvador.	17
9. Representación gráfica de la temperatura y la precipitación que se presenta en el Parque Nacional Cerro Verde, El Salvador durante un período de siete años. Elaboración propia a partir de (MAG 1987)	19
10. Mapa con las zonas climáticas de El Salvador, indicando clima tropical de alturas para el Cerro Verde (Fuente: SNET s.a.).	19
11. Suelos pertenecientes al departamento de San Ana, al sur de éste se observan los suelos litosoles que corresponden a la zona del Parque Nacional Cerro Verde (MAG 2012).....	20

12. Pirámide con la clasificación de las zonas de vida (Holdridge 1987).....	21
13. Mapa de Zonas de Vida de El Salvador (MAG 2013).	22
14. Mapa actualizado de los Ecosistemas de El Salvador (MARN 2011)	23
15. Distribución espacial de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Cerro Verde.....	24
16. Muestreo de Pteridophyta. A. Medición de rizoma de helechos. B. Colecta de frondas y rizoma de helechos. C. Colecta de helechos terrestres. D. Colecta de helechos epífitos.	26
17. Toma de datos microclimáticos al interior del bosque en estudio, en el Cerro Verde.	27
18. Promedio de la temperatura horaria en la estación lluviosa (septiembre).....	34
19. Promedio de la humedad relativa horaria en la estación lluviosa (septiembre).	34
20. Promedio de la velocidad del viento horaria en la estación lluviosa (septiembre). 35	
21. Promedio de la luz horaria en la estación lluviosa (septiembre).	35
22. Promedio de la radiación solar horaria en la estación lluviosa (septiembre).	36
23. Promedio de la temperatura horaria promedio de la estación seca (enero).....	38
24. Promedio de la humedad relativa horaria de la estación seca (enero).	39
25. Promedio de la velocidad del viento horaria en estación seca (enero).....	39
26. Promedio de luminosidad horaria de la estación seca (enero).	40
27. Promedio de la radiación solar horaria promedio de la estación seca (enero).	40
28. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la temperatura, correspondientes al sitio 1.	43
29. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la temperatura, correspondientes al sitio 2.	44
30. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la temperatura, correspondientes al sitio 3.	44

31. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la humedad relativa, correspondientes al sitio 1.....	46
32. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la humedad relativa, correspondientes al sitio 2.....	47
33. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la humedad relativa, correspondientes al sitio 3.....	47
34. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la velocidad del viento, correspondientes al sitio 1.....	49
35. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la velocidad del viento, correspondientes al sitio 2.....	50
36. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la velocidad del viento, correspondientes al sitio 3.....	50
37. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la luminosidad, correspondientes al sitio 1.....	52
38. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la luminosidad, correspondientes al sitio 2.....	52
39. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la luminosidad, correspondientes al sitio 3.....	53
40. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la radiación solar, correspondientes al sitio 1.....	54
41. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la radiación solar, correspondientes al sitio 2.....	55
42. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la radiación solar, correspondientes al sitio 3.....	55
43. Hábito de los individuos de Pteridophyta muestreados en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.....	57
44. Riqueza de especies de Pteridophyta por sitios.....	58
45. Porcentaje de abundancia de las especies de Pteridophyta por sitios.....	59

46. Representación gráfica de los valores de IVI de las especies arbóreas muestreadas en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.	62
47. Representación gráfica de las relaciones entre las variables microclimáticas y la abundancia de Pteridophyta en el Parque Nacional Cerro Verde.	64
48. Comparación de los valores de temperatura correspondientes al periodo 1981-1987 con el 2016-2017 del Parque Nacional Cerro Verde.....	65

RESUMEN

Se realizó un estudio de las características microclimáticas, la composición y diversidad de la vegetación Pteridophyta en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde. Para ello se realizaron 12 viajes de campo, se establecieron tres sitios de muestreo y se delimitaron 4 parcelas de 10 x10 m (100 m²) en cada sitio, para la cuantificación de los helechos, las especies arbóreas del dosel y la toma de datos de las variables microclimáticas. Las especies fueron identificadas y junto a los datos microclimáticos, fueron procesados en Excel, Past y Statgraphic, se estimaron índices de diversidad para la vegetación en estudio y el IVI para las especies arbóreas. Posteriormente se utilizó estadística multivariada, concretamente un análisis de correspondencia canónica, para determinar relaciones entre las variables microclimáticas y la abundancia de especies de helechos identificados en el estudio.

El microclima tuvo un comportamiento normal con valores promedio estándar para cada una de las variables. Se determinaron un total de 13 especies de helechos, de los cuales el 96% fueron epífitos y el 4% terrestre; las especies más abundantes fueron *Pleopeltis angusta*, *Asplenium cuspidatum* y *Polypodium alansmithii*. Los índices de diversidad-equidad arrojaron una diversidad media y baja dominancia de especies. Se registraron 12 especies arbóreas correspondientes al dosel, la diversidad-equidad de especies arbóreas fue también media, con baja dominancia, el índice de valor de importancia ecológica muestra que las especies *Quercus skinneri*, *Montanoa guatemalensis*, *Nectandra cf. cuspidata*, *Ardisia compressa* y *Oreopanax xalapensis* son las más representativas en la comunidad.

El análisis de correspondencia canónica demostró que las variables microclimáticas tenían influencia en la abundancia de los helechos, de las 13 especies reportadas, 6 de ellas presentaron un comportamiento mayormente generalista en relación a las variables microclimáticas, tolerando las oscilaciones pronunciadas de las variables. La luz y radiación solar fueron variables que condicionaron a las especies; *Ctenitis equestris* y *Polypodium colpodes*, las especies *Dryopteris patulata*, *Elaphoglossum cf. guatemalense* y *Polystichum hartwegii* fueron mayormente dependientes de la variable viento y finalmente las especies *Adiantum cf. concinum* y *Blechnum appendiculatum* se presentaron mayormente asociadas a la temperatura y a la humedad relativa.

1. INTRODUCCIÓN

El Salvador es un país ampliamente deforestado y afectado por las actividades antropogénicas que han alterado su paisaje. El Parque Nacional Cerro Verde, forma parte del Área Natural Protegida Complejo Los Volcanes y no está exento del impacto antropogénico que el turismo y la construcción de infraestructuras ejercen sobre el paisaje del Cerro Verde.

El principal interés de haber realizado la presente investigación, fue la importancia que los estudios microclimáticos y florísticos representan para la comprensión de la dinámica de los ecosistemas. Estudiar el microclima de los bosques contribuye a generar conocimiento del funcionamiento de las comunidades vegetales, además de ser útiles para mitigar el cambio climático mediante las coberturas forestales. Las Pteridophytas son plantas que presentan importancia ecológica al ser sensibles a los cambios ambientales, por lo que pueden utilizarse como especies bioindicadoras. Al igual que el resto de especies vegetales, también son utilizadas por su fibra para la confección de materiales y en medicina popular. Según el listado oficial de especies de vida silvestre amenazadas o en peligro de extinción, MARN (2015) se cuenta con al menos con 27 especies de Pteridophyta que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, dándole relevancia a realizar estudios de este tipo.

La presente investigación se realizó en el Parque Nacional Cerro Verde, específicamente en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del parque; esta zona de vida ocupa un limitado lugar en el territorio, equivalente al 1.61% que corresponde a 33,750 hectáreas, zona que por sus características geográficas contribuyen a la captación de agua y conservación de diversa fauna y flora, además de potencial natural y económico-ecoturístico. El principal objetivo de la investigación era caracterizar el comportamiento microclimático, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde y la composición y diversidad de Pteridophyta y la vegetación arbórea del dosel.

Para la realización de la investigación se establecieron 3 sitios y se delimitaron en cada uno, 4 parcelas de 10x10 m para el registro de la vegetación y se emplearon instrumentos de medición meteorológica manuales. Para la identificación de las especies vegetales se colectaron muestras botánicas.

Posteriormente se aplicaron los índices de diversidad alfa e IVI para estimar la diversidad y la importancia de la vegetación, además, se utilizó estadística multivariada, específicamente un análisis de correspondencia canónica para observar relaciones entre las variables microclimáticas y la abundancia de helechos.

Los resultados fueron 13 especies de Pteridophyta y 12 especies arbóreas del dosel. La diversidad de helechos y de las especies arbóreas fue media y dominancia baja. Se observó que *Quercus skinneri* posee un alto valor de importancia ecológica del bosque.

El bosque presentó condiciones microclimáticas propias de la zona, en dónde las variables ejercen influencia en la abundancia de helechos, sobre todo en ciertas especies de helechos que son más sensibles a la oscilación de las variables microclimáticas. El microclima en estudio presentó similar tendencia en comparación a previas investigaciones realizadas en cafetal y manglar.

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Caracterizar el microclima y la vegetación Pteridophyta, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde, Santa Ana, El Salvador.

Objetivos Específicos:

- Registrar el comportamiento microclimático, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Cerro Verde, Departamento de Santa Ana, El Salvador.
- Identificar la composición y diversidad de la vegetación Pteridophyta, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Cerro Verde, Departamento de Santa Ana, El Salvador.
- Determinar la composición y diversidad del dosel del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Cerro Verde, Departamento de Santa Ana, El Salvador.
- Relacionar las variables microclimáticas, con la abundancia de la vegetación Pteridophyta en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Cerro Verde, Departamento de Santa Ana, El Salvador.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Los estudios microclimáticos en El Salvador son pocos, se han realizado tres en el pasado, dos a cargo del mismo autor, estos se realizaron en un cafetal, manglar y bosque de asociación Pino-Roble.

- Salazar (1984), realizó una investigación en donde estudió el microclima en que se desarrolla el cafetal, enfatizando en la obtención de parámetros microclimáticos para el desarrollo del café.
- Maldonado (1988), realizó una caracterización microclimática del manglar La Zunganera en el departamento de La Paz, evidenciando el efecto de la vegetación en el microclima del bosque.
- Salazar (2010), realizó un estudio microclimático en un bosque de asociación pino-roble en el departamento de Chalatenango, empleando dos estaciones meteorológicas automáticas que le proporcionó importante información tomada durante un año, concluyendo que la temperatura es la variable menos afectada que el viento, radiación solar y humedad relativa.

Existen otros estudios en el país que no incluyen el microclima como tema central, ya que se realizó una aproximación a partir de registros no sistematizados para su medición pero que permiten hacer una estimación aproximada a las variables microclimáticas, tal es el caso de las características climáticas y aproximación a condiciones microclimáticas del bosque nebuloso del Volcán de Santa Ana por Santamaría (s.a.), el cual hace una descripción de las condiciones meteorológicas que se presentan en el Volcán de Santa Ana.

Los helechos y la vegetación arbórea han sido estudiados en mayor medida, por lo que se cuenta con estudios previos que enriquecen el marco referencial de información para la realización de la presente investigación.

- El primer estudio de helechos realizado en El Salvador corresponde a la “Lista Preliminar de Plantas de El Salvador” realizado por Maxon y Standley (1922), donde enlistan 97 especies de helechos para El Salvador.
- Esta lista aumenta a 171 registros, con el aporte realizado por Loetschert (1953) el cual agrega 74 especies más para El Salvador.
- En la revista Comunicaciones Siu & Rosales 1977, se menciona un estudio de dominancia y distribución de Pteridophytas en el Cerro Verde, reportando 8 especies, a las cuales se les estimó el índice de valor de importancia (IVI).
- La revista Comunicaciones Salguero & Rosales 1978 presenta un artículo titulado “Cerro Verde, análisis preliminar de la vegetación arbórea en zonas de disturbio” presentando un listado florístico de la composición arbórea del Cerro Verde.
- Seiler (1980) elabora la primera guía taxonómica para helechos de El Salvador, añadiendo más de 100 especies nuevas de Pteridophyta para El Salvador.
- Gómez (1982) publica el artículo “Contribuciones a la pteridología Centroamericana”, en donde incluye la flora Pteridophyta de El Salvador.
- Berendsohn (1989), publica un fascículo con un listado de pteridophytas en El Salvador, por medio de la revista Cuscatlania del Jardín Botánico La Laguna.
- Davidse *et. al* (1995), publican el libro “Flora Mesoamericana” el cual incluye en el volumen 1, desde la familia Psilotaceae hasta Salvaniaceae.
- W.D. Stevens *et. al*, 2001. Flora de Nicaragua. Comparte especies en común con E.S.
- Monro, Monterrosa y Ventura (2002), elaboraron el estudio “Helechos de los cafetales de El Salvador”, generando una investigación aplicada a un sector agrícola.
- Fraser-Jenkins. 2007. Publica el artículo “The species and subspecies in the dryopteris affinis group” donde mencionan especies de la familia dryopteridaceae distribuidas en El Salvador.
- Monterrosa & Monro (2008). En su artículo “An annotated checklist of the monilophytes (ferns) and lycophytes of El Salvador, enlistan 397 especies al país.
- Posteriormente, Monterrosa *et al.* (2009) realizaron una nueva guía de identificación de helechos de El Salvador. Actualmente El Salvador cuenta con 397 especies de helechos reportadas hasta el 2010 según el “Cuarto informe al convenio sobre diversidad biológica en El Salvador”.

- Bernal (2013) Investigó los helechos en el bosque Las Lajas del Área Natural Protegida, Complejo San Marcelino en el año 2011, él reportó 939 individuos de helechos, 29 especies pertenecientes a 12 familias, una de ellas en peligro de extinción con 21 helechos terrestres y el resto epífitos y rupícolas.

3.2. Climatología

La climatología se encarga de determinar el clima mediante información de las variables meteorológicas de grandes periodos para obtener valores medios, normales, frecuencias, etcétera, que permiten apreciar la interrelación de los fenómenos atmosféricos con la geografía de un lugar (Torres 1996). Dependiendo de la escala en que se realice el estudio meteorológico, este podrá clasificarse en base a Macrometeorología, Mesometeorología y Micrometeorología (Torres 1996)

La diversidad de escalas del clima se categoriza en:

- **Macroclima:** representa el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio atmosférico de un lugar o sitio determinado (Torres 1996).
- **Mesoclima:** Es el resultado del efecto que produce las variables meteorológicas sobre un área relativamente extensa a una escala intermedia entre el macro y microclima y que cubre algunos kilómetros cuadrados (Oliver y Hidore 2002). También es dependiente de los factores topográficos a una escala mayor (Torres 1996).
- **Microclima:** Es el clima que reina en un punto limitado, a la escala de la estación meteorológica, tales como el fondo de un valle, la cresta de una roca o la sombra de los arboles (Chasco y Hijano 1991).

3.3. Microclima del bosque

El microclima que se produce bajo las cubiertas vegetales de los bosques posee un papel importante en el desarrollo y perpetuación de la cobertura vegetal, producto de la red de interacciones e interdependencias que se establecen (Sanz 2004).

Los elementos del microclima son el conductor primario de las respuestas biológicas a la necesidad que existe de relación con el medio físico (Sanz 2004).

El dosel de árboles y otras plantas que crean sombra modifican sustancialmente las condiciones microclimáticas bajo el dosel. La temperatura se ve modificada, se reduce la cantidad de energía solar y la humedad relativa es retenida en mayor medida (Gliessman 2002). Una de las causas de la respuesta microclimática en presencia de las cubiertas forestales radica en la composición específica (condicionante del carácter perenne o caduco) del dosel, debido a que ésta participa en la transferencia de masa y energía en el bosque (Sanz 2004)

3.4. Variables microclimáticas

3.4.1. Luminosidad y radiación solar

La radiación solar se define como el conjunto de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el sol. El sol es la fuente de las radiaciones caloríficas y otras formas de energía que influyen en la atmósfera (Figura 1) (Torres 1996). La cubierta forestal modifica el flujo de radiación solar produciendo tres consecuencias, la primera es la extinción o ensombreamiento de la radiación solar incidente, la segunda es la disminución en la amplitud de variación temporal (anual y diaria) de la radiación neta bajo la cubierta con un superávit y déficit energéticos menos pronunciados y tercero, la modificación espectral de los flujos de radiación circulantes (Sanz 2004).

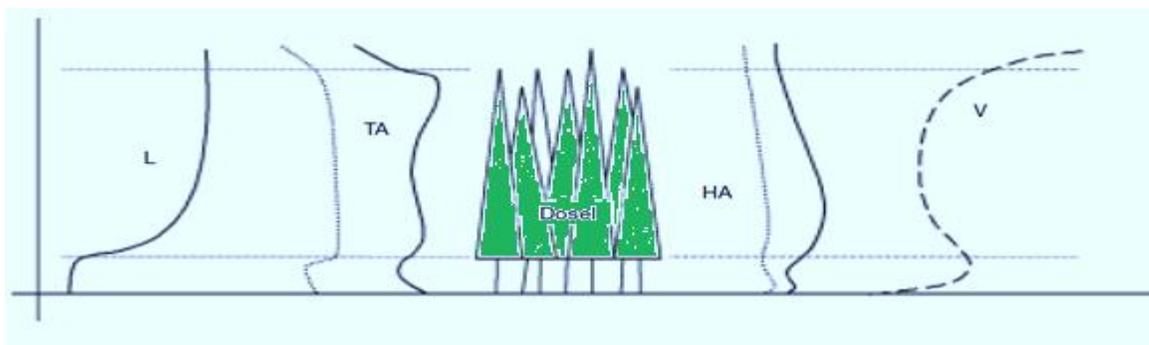


Figura 1. Perfiles verticales de variación de las variables de estado. TA: temperatura del aire. HA: humedad atmosférica. V: velocidad del viento. L: luminosidad: trazo continuo, día; trazo discontinuo en puntos, noche; trazo discontinuo en líneas, día y noche (Sanz 2004).

3.4.2. Temperatura

La temperatura del aire es el grado sensible de calor y se debe principalmente a la radiación calorífica de onda larga que emite la superficie del planeta (Torres 1996). El balance térmico de un bosque depende de los factores geográficos (latitud, longitud y altitud), de la pendiente y de la exposición, además de los factores edafológicos y la estructura de la vegetación (Figura 2). Las variaciones máximas ocurren en el día y las mínimas durante la noche (Heuveldop 1986).

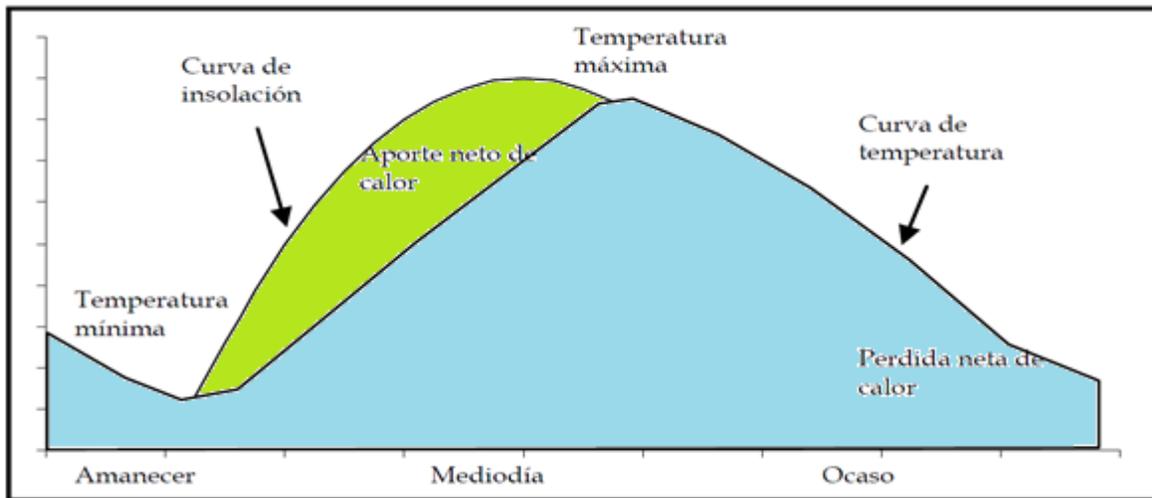


Figura 2. Variación de la insolación y temperatura del aire durante el día (Pareja 2008).

3.4.3. Humedad Atmosférica

Se entiende por humedad a la cantidad de vapor presente en el aire. La saturación del aire es la cantidad de agua que puede estar contenida en un volumen de aire a cierta temperatura y ocurre por dos factores: enfriamiento y agregación de vapor de agua (Torres 1996).

La humedad del aire influye sobre la tasa de evaporación y de manera indirecta en el agua disponible en el suelo. La neblina juega un importante papel en las zonas altas, donde la lluvia precipitada no es suficiente para compensar la capacidad de transpiración de los árboles (Heuveldop 1986), inclusive la deposición por niebla puede llegar a ser el doble de la lluvia precipitada (Santamaría 1987). La alta humedad relativa existente en los bosques nublados mantiene y favorece el desarrollo de epífitas, musgos y líquenes (Stadtmüller 1987).

La *humedad absoluta* es la cantidad de gramos de vapor de agua existente en un metro cúbico de aire. La *humedad relativa* es la relación expresada en porcentaje, entre la cantidad de vapor de agua realmente existente en la atmósfera y la que existiría si el aire estuviera saturado a la misma temperatura (Torres 1996). Si aumenta la cantidad de vapor de agua, el excedente se condensa en forma de pequeñas gotas de agua (nubes, niebla, rocío) (Torres 1996).

3.4.4. Viento

El viento es el aire en movimiento. En la atmósfera libre las corrientes de aire pueden tener un movimiento vertical de ascenso o descenso, llamado convección, o bien en un sentido horizontal, llamado advección. Las fuerzas que actúan sobre el viento son la presión, rotación de la tierra, fricción y gravedad (Torres 1996).

El viento tiene importancia en el transporte de polen, semillas, esporas y en la regulación de la transpiración (Heuvelink 1986). Dentro de los efectos benéficos del viento en el bosque se encuentran, una buena circulación de éste mantiene los niveles óptimos de CO₂ y dispersa el exceso de humedad, incluso puede incrementar el intercambio gaseoso. En zonas cálidas, el viento tiene un efecto importante al aumentar la conducción y el enfriamiento evaporativo causado por el sol (Gliessman 2002).

Cuando las condiciones son de escaso viento, el movimiento de las masas de aire será vertical, durante el día, el aire de las copas se calienta más que el del interior del bosque, lo que hace que este se eleve, succionando el aire de las capas inferiores. Durante la noche, el aire frío más denso se asienta llegando a las partes bajas y desplazando hacia arriba el aire que estaba en esa posición. Así se establece una circulación de aire en el bosque que garantiza el mantenimiento de diversas condiciones microclimáticas y a la vez contribuye a la renovación constante de la capa de aire que rodea las hojas, favoreciendo el proceso fotosintético (Figura 3) (Heuvelink 1986).

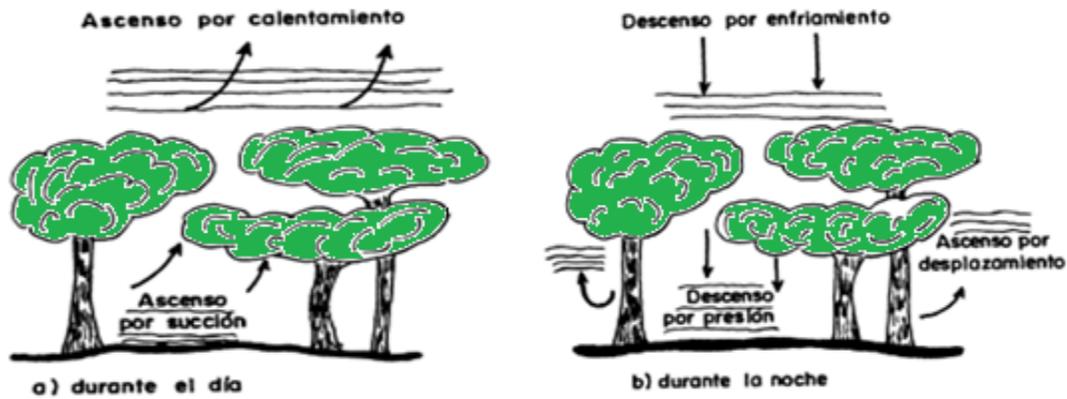


Figura 3. Circulación horaria del viento en el bosque. A) Circulación diurna B) Circulación nocturna, (Heuvel Dop 1986).

En los bosques pueden localizarse dos zonas, una donde las copas de los árboles más altos sobresalen del dosel donde el clima predominante es el macroclima y la otra cercana al suelo y por debajo del dosel llamada sotobosque, donde los organismos que la habitan se desarrollan en condiciones de radiación solar reducida, moderando la temperatura y aumentando la humedad (Figura 4). En este último proliferan hierbas, epífitas y arbustos bajos, producto del intercambio energético al interior del bosque (Salazar 2010).

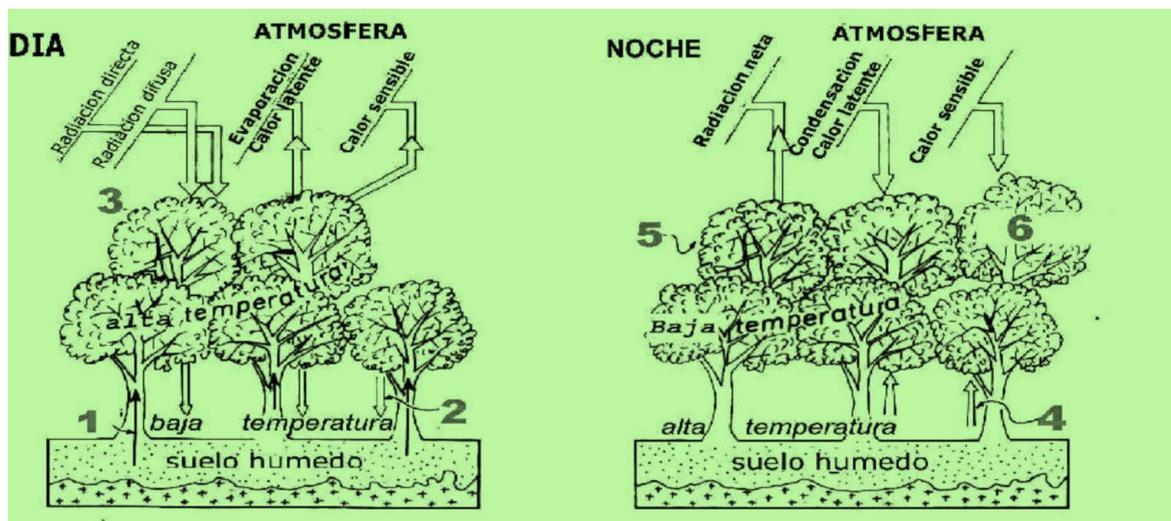


Figura 4. Intercambio energético al interior del bosque durante el día y la noche. 1. Flujo de agua desde el suelo. 2. Débil flujo de calor sensible y latente desde el dosel al fondo del bosque. 3. Radiación neta en el dosel. 4. Débil flujo de calor sensible y latente desde el fondo del bosque al dosel. 5. Superficie radiante. 6. El dosel con temperatura nocturna baja (Pareja 2008).

3.5. Metodología para las caracterizaciones microclimáticas

A lo largo del tiempo se hacen mediciones micrometeorológicas horarias en forma continua con estaciones meteorológicas, cuya información se colecta cada cierto tiempo, según el tipo de estación. Cabe destacar que se toma en cuenta estudios de la vegetación que cubre el sitio donde se ubicará la estación. Se cuantifica el comportamiento de las variables en medición y se tabulan y elaboran los gráficos respectivos para la interpretación de los análisis (Salazar 2010).

3.6. Generalidades de las Pteridophytas

Las Pteridophytas son plantas que no producen flores, fruto ni semillas, se reproducen por esporas mediante un ciclo de vida con dos fases, una gametofítica y otra esporofítica, además son un grupo heterogéneo, con especies muy grandes, de hasta 25 m, y otras muy pequeñas de escasos cm. Las estructuras principales del grupo son un rizoma generalmente escamoso, las frondas (hojas), los esporangios y las esporas. En la actualidad se calculan que existen unas 12.000 especies de pteridofitas, concentradas principalmente entre los trópicos (Monterrosa et. al. 2009; Delgado 2006).

3.6.1. Evolución de los helechos

Las primeras especies en colonizar el medio terrestre corresponden a organismos similares a los psilofitos, a finales del Silúrico, en el Paleofítico hace unos 450 millones de años, estos organismos presentaban mecanismos muy básicos para enfrentar la desecación, con el tiempo evolucionaron y desarrollaron estructuras adaptativas que les permitieron crear las primeras grandes masas vegetales sobre la tierra en el Carbonífero, hace unos 350 millones de años, distribuidos principalmente en el Ecuador, en el pérmico hace 300 millones de años, ocurre una desecación que extingue a varias especies, a pesar de ello, en el Mesozoico entre 225 y 315 millones de años, los pteridophytos seguían siendo el grupo vegetal dominante, gradualmente el grupo fue decayendo con la aparición de las gimnospermas, hasta que en el Neofítico hace 65 millones de años, las angiospermas se convirtieron en el grupo dominante (Delgado 2006).

3.6.2. Morfología de los helechos

Los helechos están compuestos principalmente por un rizoma, las frondas, los soros que albergan los esporangios y las esporas (Figura 5). El rizoma realiza la función de anclaje y absorción de nutrientes y agua, estos son de importancia taxonómica ya que poseen escamas y tricomas para la identificación. Las frondas son las equivalentes a hojas en las plantas comunes, se componen de lámina y estípite, aquí se realiza el proceso fotosintético. Los soros son producidos en la parte abaxial de la fronda, albergan los esporangios y éstos pueden ser desnudos o protegidos por indusios. Los esporangios albergan los dos tipos de esporas para la reproducción, éstas pueden ser esporas monoletes o triletes (Monterrosa et. al. 2009; Delgado 2006).

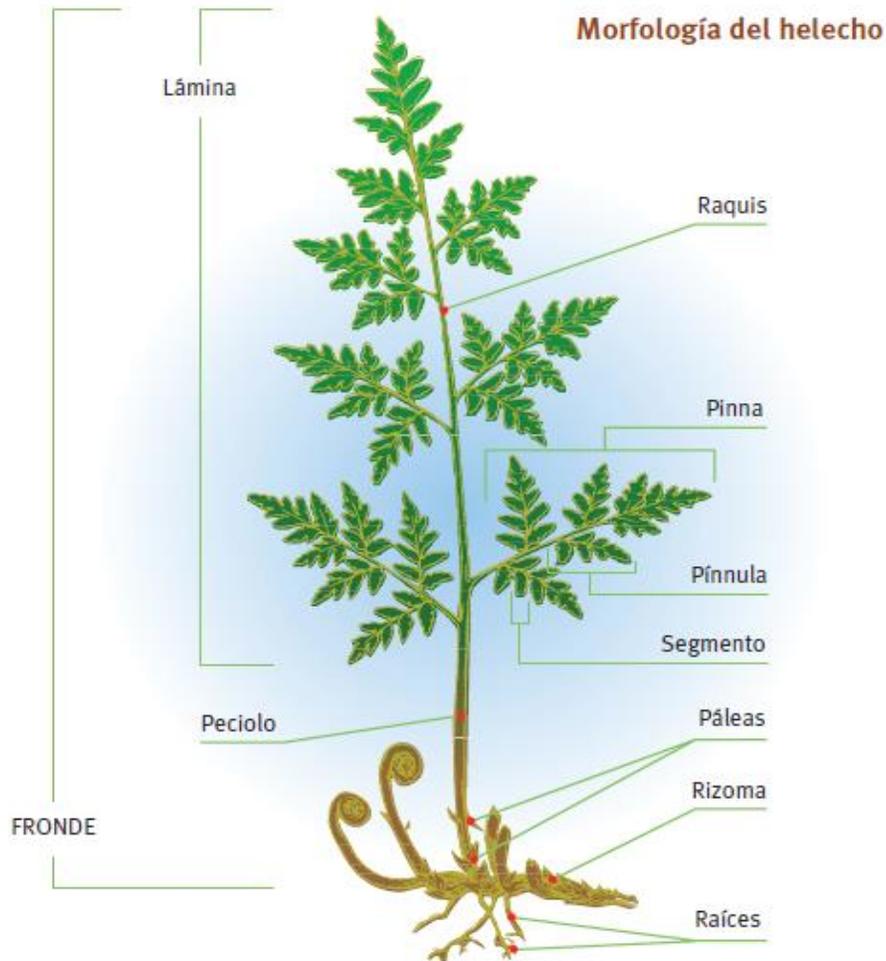


Figura 5. Morfología de un helecho común (Delgado 2006).

3.6.3. Reproducción de los helechos

Se lleva a cabo en do fases, una gametofítica y otra esporofítica. El ciclo inicia cuando las esporas son liberadas del esporangio, las cuales caen al suelo y “germinan” produciendo un prótalo (estructura en forma de corazón) que corresponde a la fase gametofítica. Esta estructura alberga los arquegonios y los anteridios, el primero produce la célula huevo, y el segundo, el esperma. La fertilización se lleva a cabo en presencia de agua, produciendo un cigoto que crece y se desarrolla en un esporofito el cual madura y produce las estructuras típicas que se observan en un helecho, este vuelve a producir esporas para dar continuidad al ciclo (Figura 6). Además, algunos helechos son capaces de reproducirse de forma asexual dando lugar a nuevos individuos idénticos a los progenitores (Monterrosa et. al. 2009; Delgado 2006).

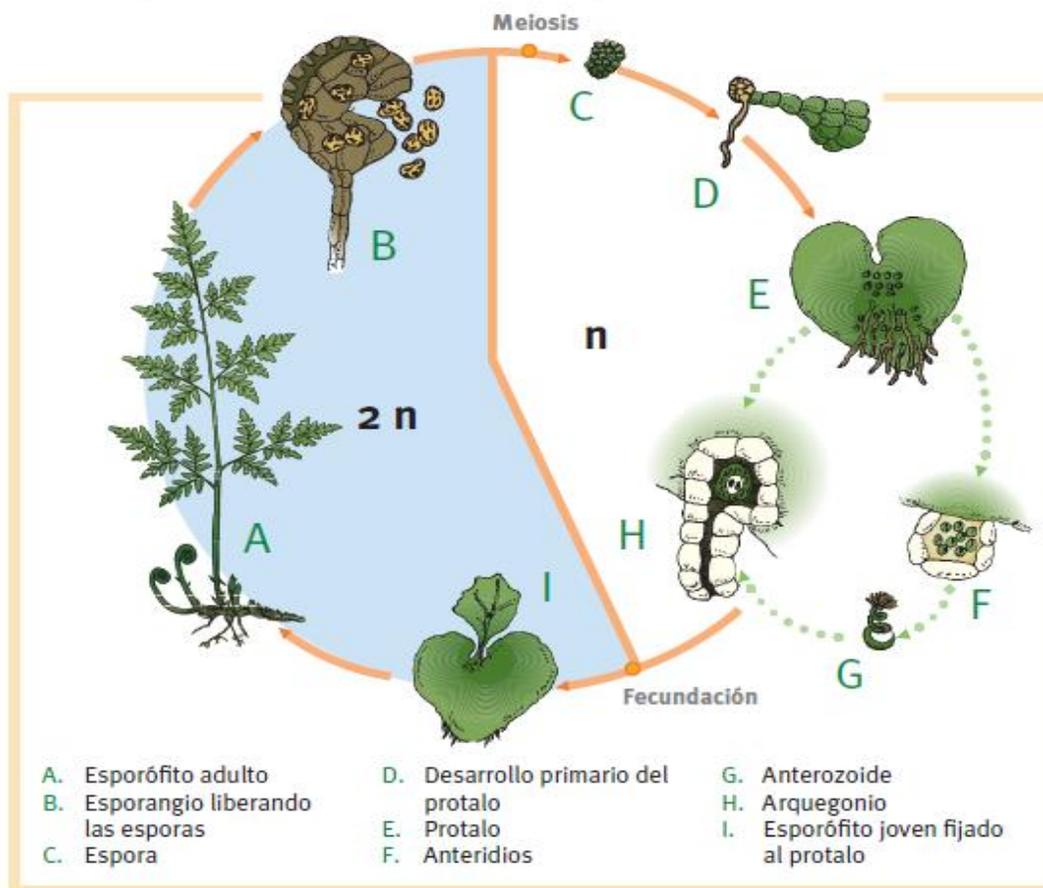


Figura 6. Ciclo reproductivo sexual de un helecho isospórico (Delgado 2006).

3.6.4. Hábitat de los helechos

Las pteridophytas viven en hábitats muy diversos, desde las selvas tropicales, hasta la tundra, siendo más abundantes en los trópicos (Chocarro et. al. 1999; Seiler 1980). Desarrollan diversas formas de vida como epífitos, palustres, acuáticos, rupícolas, terrestres, desde pequeños y frágiles, hasta alcanzar portes arbóreos, sobreviven a ambientes secos y húmedos desde las zonas bajas, hasta más de 3,000 m.s.n.m. pero la concentración de riqueza de especies se encuentra en elevaciones medias (1,000, 2,000 m.s.n.m.) entre los 12° y 27° grados Celsius de temperatura (Delgado 2006; Monterrosa et. al. 2009).

3.6.5. Clasificación de los helechos

Los helechos son un grupo parafilético de plantas llamado Pteridophyta, compuesto por las Licophyta y las Monilophyta, englobando a los equisetos, “colas de caballo”, licopodios y selaginelas (Figura 7) (Monterrosa et. al. 2009).

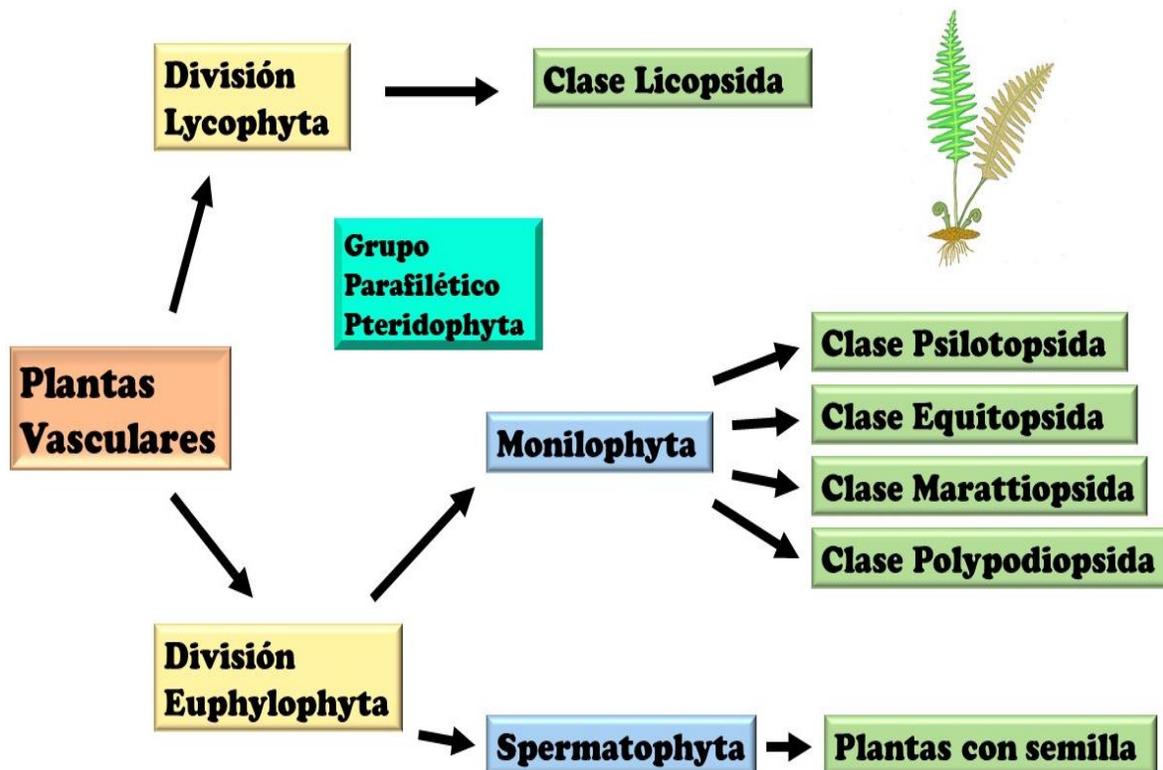


Figura 7. Clasificación del grupo Pteridophyta. (Elaboración propia basado en Monterrosa *et al.* 2009).

3.7. Metodologías utilizadas en los estudios florísticos

Según Matteucci y Colma 1982, los estudios florísticos comprenden los siguientes objetivos fundamentales:

1. Detección de patrones espaciales, horizontales o verticales, de los individuos o de las especies.
2. Estudio de los procesos poblacionales que influyen los patrones espaciales o temporales
3. Detección de tendencias o clases de variación de las relaciones de similitud o disimilitud de las comunidades o grupos de especies.
4. Establecimiento de correlaciones o de asociaciones entre los patrones espaciales de las comunidades o de grupos de especies y patrones de una o más variables ambientales, y formulación de hipótesis acerca de las relaciones causales entre los factores ambientales y las respuestas de la vegetación.

3.7.1. El inventario

Según Chasco (1991), el inventario fitosociológico debe realizarse con base a criterios y normas cuya finalidad es facilitar su comparación y la identificación y delimitación de asociaciones. Supone los siguientes pasos sucesivos:

- ✓ Elección y delimitación del área de inventario.
- ✓ Realización del inventario.
- ✓ Elaboración de las tablas de la comunidad.

3.7.2. Cuadrantes

El método de los cuadrantes es una de las formas más comunes de muestreo de vegetación. Los cuadrantes hacen muestreos más homogéneos y tienen menos impacto de borde en comparación a los transeptos. El método consiste en colocar un cuadrado sobre la vegetación, para determinar la densidad, cobertura y frecuencia de las plantas (Fredericksen 2000).

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación del área de estudio

El Parque Nacional Cerro Verde se encuentra ubicado al sur del departamento de Santa Ana, fronterizo con el departamento de Sonsonate, pertenece al Complejo los Volcanes, y forma parte de la Cordillera Apaneca-Ilamatepec, con una altura máxima de 2030 msnm y 54 manzanas. La cima del Cerro Verde se ubica a los 13°49' de Latitud Norte y a los 89°37' de Longitud Oeste (Figura 8).

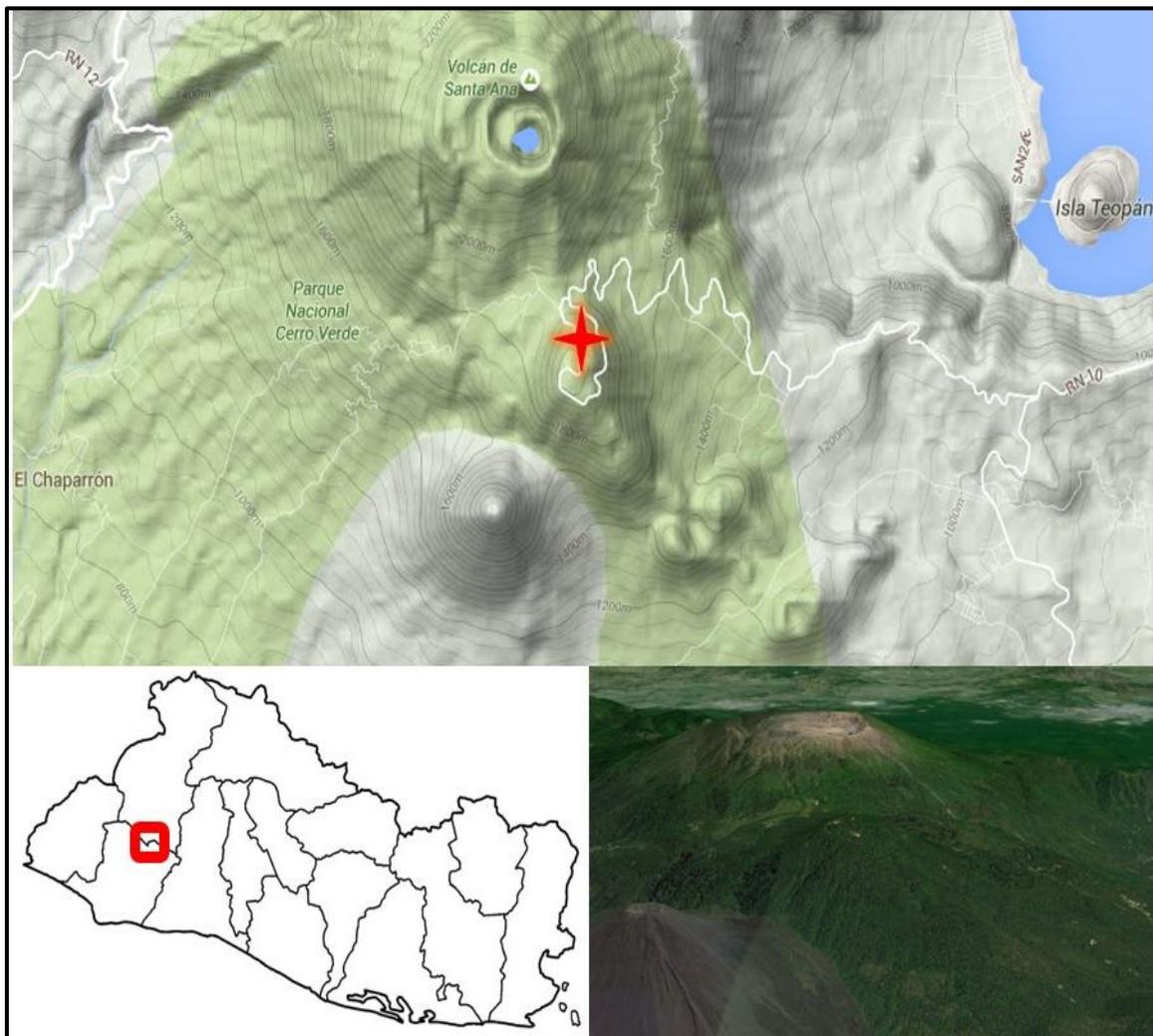


Figura 8. Ubicación geográfica del Parque Nacional Cerro Verde, departamento de Santa Ana, El Salvador.

4.2. Descripción del área de estudio

4.2.1. Topografía

El Cerro Verde se ubica en la cordillera Apaneca-Ilamatepec resultado de la convergencia de las placas tectónicas del Caribe y Cocos, a 2030 m.s.n.m., le acompañan el Volcán de Santa Ana con 2,381 m.s.n.m., el volcán de Izalco con 1,952 m.s.n.m., y el Volcán San Marcelino con 1,257 m.s.n.m. Existen también fallas locales, asociadas a la actividad volcánica de la cordillera, principalmente en la Caldera de Lago de Coatepeque (MARN 2007).

4.2.2. Clima

La temperatura del Cerro Verde es en promedio de 14.7 °C con una oscilación térmica de 2°C. Los meses más cálidos corresponden a abril y mayo con 15.5°C en promedio, mientras que el mes más frío, es enero con 13.5°C. La precipitación presenta un promedio de (176.2) y un acumulado de 2114 milímetros de lluvia al año, en donde el mes más seco corresponde a febrero con tan solo 2 milímetros de lluvia y el mes más lluvioso, septiembre con 453 milímetros de lluvia (Tabla 1). Se evidencia una alta pluviosidad para los meses de mayo a octubre, correspondientes a la estación lluviosa y menores precipitaciones para el resto de meses equivalentes a la estación seca (Figura 9) (MAG 1987).

La cima del Parque Nacional del Cerro Verde posee un clima tropical de altura, tierra fría. Se presenta en los picos y cumbres montañosas superiores a los 1,800 msnm, hasta los 2,700 msnm, para el caso de El Salvador, es un clima templado con época seca larga, la zona comprende temperaturas que oscilan de 16 a 10 °C en valles y hondonadas; en donde cada año hay presencia de heladas y escarchas (Figura 10) (Cardenal 2000).

Tabla 1. Parámetros climáticos del Cerro Verde con una vigencia de siete años de medición (MAG 1987).

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Promedio
Temperatura	13.5	14.2	15.1	15.5	15.5	15	15	15	14.6	14.9	14.5	14	14.7
Precipitación	9	2	21	94	190	405	319	353	453	204	51	13	176.2

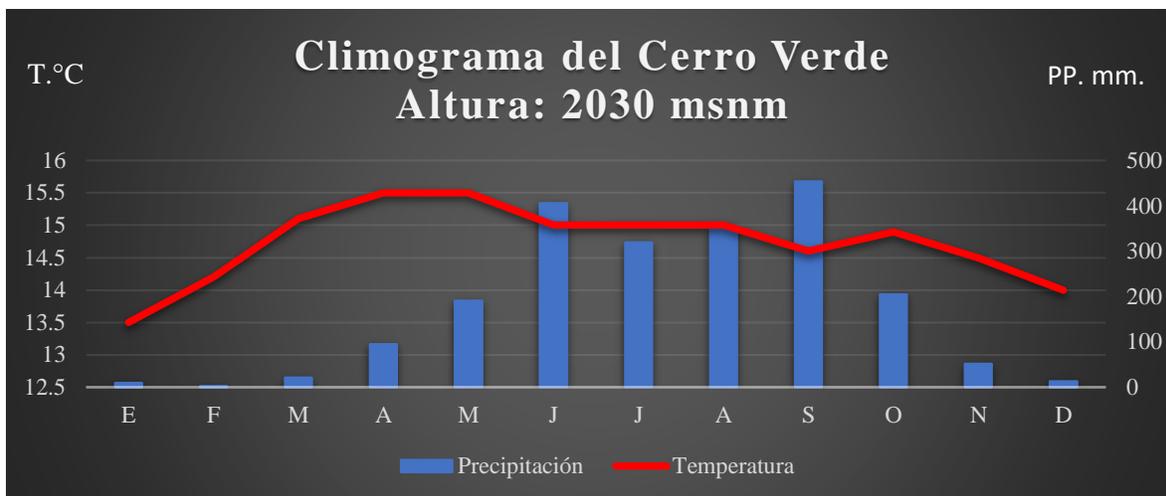


Figura 9. Representación gráfica de los promedios mensuales de la temperatura y la precipitación que se presenta en el Parque Nacional Cerro Verde, El Salvador; promedios mensuales acumulados durante un período de siete años (1981-1987). Elaboración propia a partir de (MAG 1987).

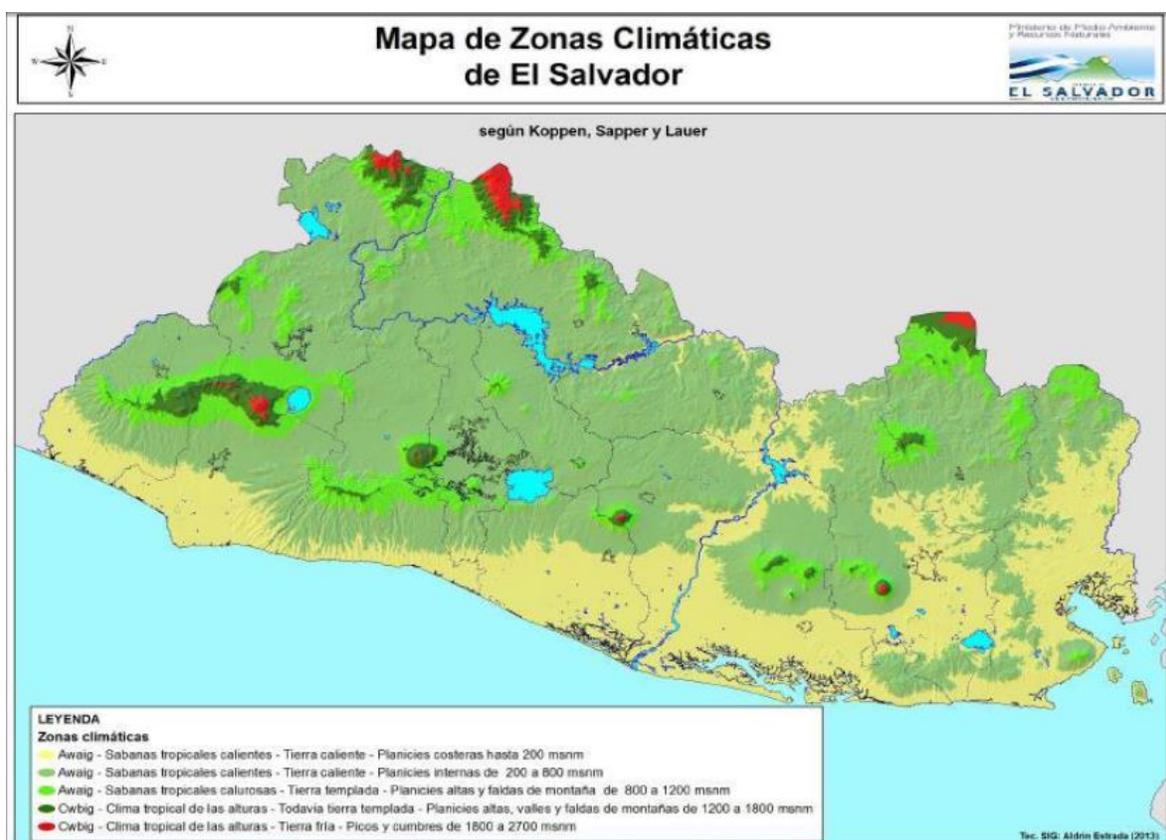


Figura 10. Mapa con las zonas climáticas de El Salvador, indicando clima tropical de alturas para el Cerro Verde (Fuente: SNET s.a.).

4.2.3. Suelos

El Cerro Verde presenta suelos jóvenes con poco desarrollo, producto del origen volcánico de la zona. Se caracterizan por su ausencia de carga eléctrica, muy propensos a retener agua y generalmente una fina textura de limo. Debido a eso, estos suelos están compuestos por materiales fácilmente erosionables, buen rendimiento y una permeabilidad extrema (MARN 2007).

Según el MAG (2012), el tipo de suelo dominante en el Cerro Verde, es el litosol, son suelos de muy poca profundidad sobre roca pura, notablemente complejos. La mayoría presenta horizontes superficiales que han sido truncados a causa de una severa erosión laminar o sea que la erosión ocurre en láminas y no en forma de cárcavas, son suelos arcillosos como los latosoles pero muy superficiales (Figura 11). Las texturas varían de gruesa, arenas y gravas hasta muy pedregosos sobre la roca dura.

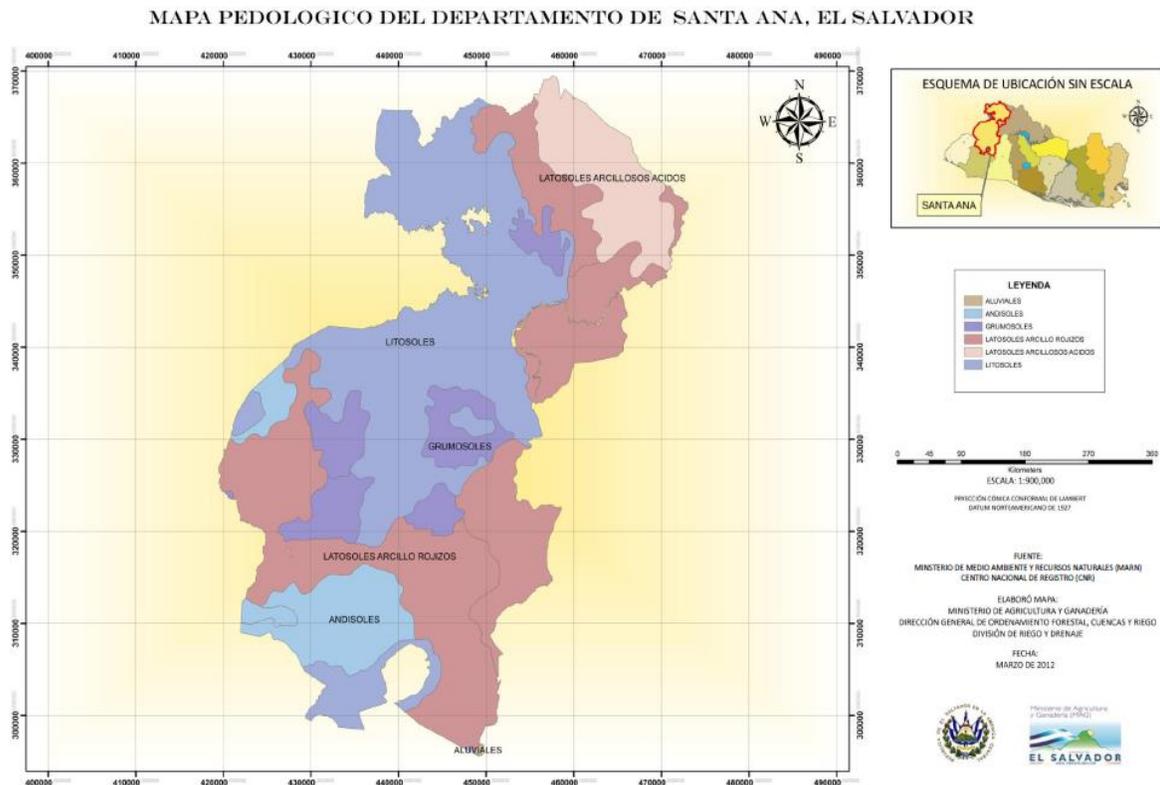


Figura 11. Suelos pertenecientes al departamento de San Ana; en la zona del Parque Nacional Cerro Verde, son suelos litosoles (MAG 2012).

4.2.4. Zona de vida

La zona de vida correspondiente a la cima del Parque Nacional Cerro Verde, es el bosque muy húmedo montano bajo subtropical, bajo la clasificación de Holdridge. El bosque montano se ubica entre los 1400 y 2700 msnm (Figura 10). Esta zona de vida posee en El Salvador una extensión de 33,750 ha; es decir el 1.61% del territorio salvadoreño. (Figura 12). La precipitación presente en dicha zona de vida está entre los 2000 y 4000 mm. Además, la condensación registrada anualmente, aumenta de forma progresiva a medida aumenta la altura de la vegetación. Es una característica común la presencia de niebla durante periodos largos en el día por lo cual se denominan bosques nebulosos. El uso más apropiado a esta zona, debería ser la producción de agua y conservación de la zona de transición entre diferentes tipos de bosques (Figura 13) (Cardenal *et al.* 2000; Quesada 2007).

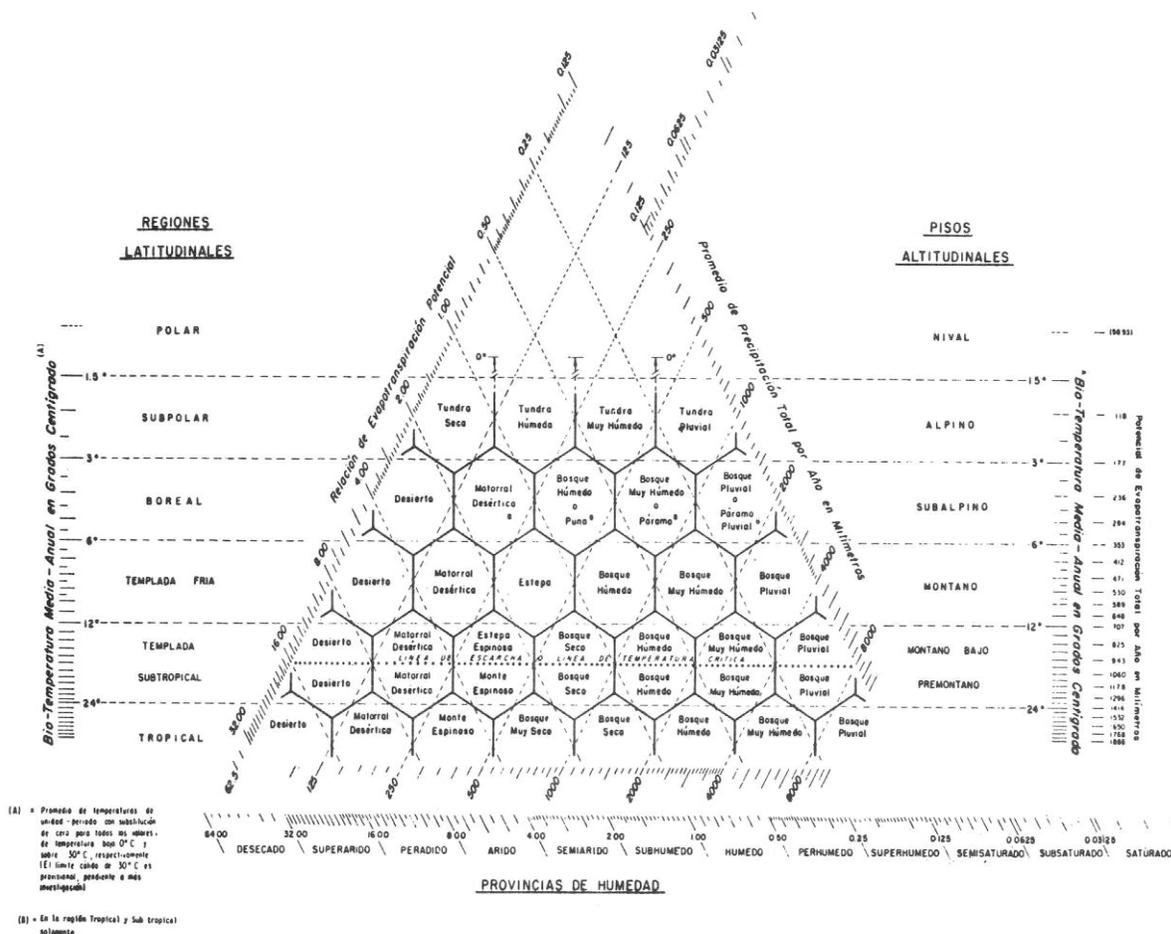


Figura 12. Pirámide con la clasificación de las zonas de vida (Holdridge 1987).

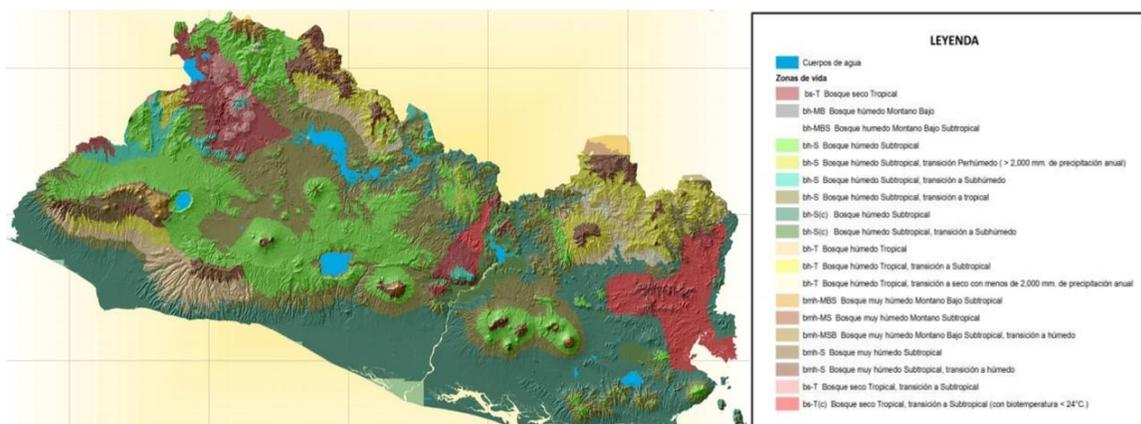


Figura 13. Mapa de Zonas de Vida de El Salvador (MAG 2013).

4.2.5. Ecosistemas de El Salvador

Según la actualización realizada por el MARN 2011, el Cerro Verde pertenece al ecosistema de “Bosque tropical siempreverde estacional latifoliado montano superior, bien drenado” el cual se distribuye por encima de los 1400 msnm hasta los 2100 msnm (Figura 14).

4.2.6. Flora

Las especies vegetales características de este sitio son *Quercus sp.*, *Pinus sp.*, *Cupressus lusitanica* y *Lyquidambar styraciflua*; aunque también son frecuentes *Saurauia kegeliana*, *Styrax argenteus*, *Hirtella racemosa*, *Sapranthus violaceus* y *Matayba glaberrima*. Se observa un marcado epifitismo de diversas especies de Orquídeas, Bromelias, Piperáceas, Cactáceas y helechos (MARN 2007). Orquídeas de los géneros *Epidendrum*, *Brassavola*, *Diachea* y bromelias del género *Tillandsia* y *Pitcairnia* (MARN s.a.)

4.2.7. Fauna

La fauna asociada al Parque Nacional Cerro Verde, está representada por coyote, zorro espín, tigrillo, aves como el gavián cola corta, halcón del monte y el águila negra, entre otros (MARN s.a.)

Mapa de Ecosistemas de El Salvador. Actualización 2011

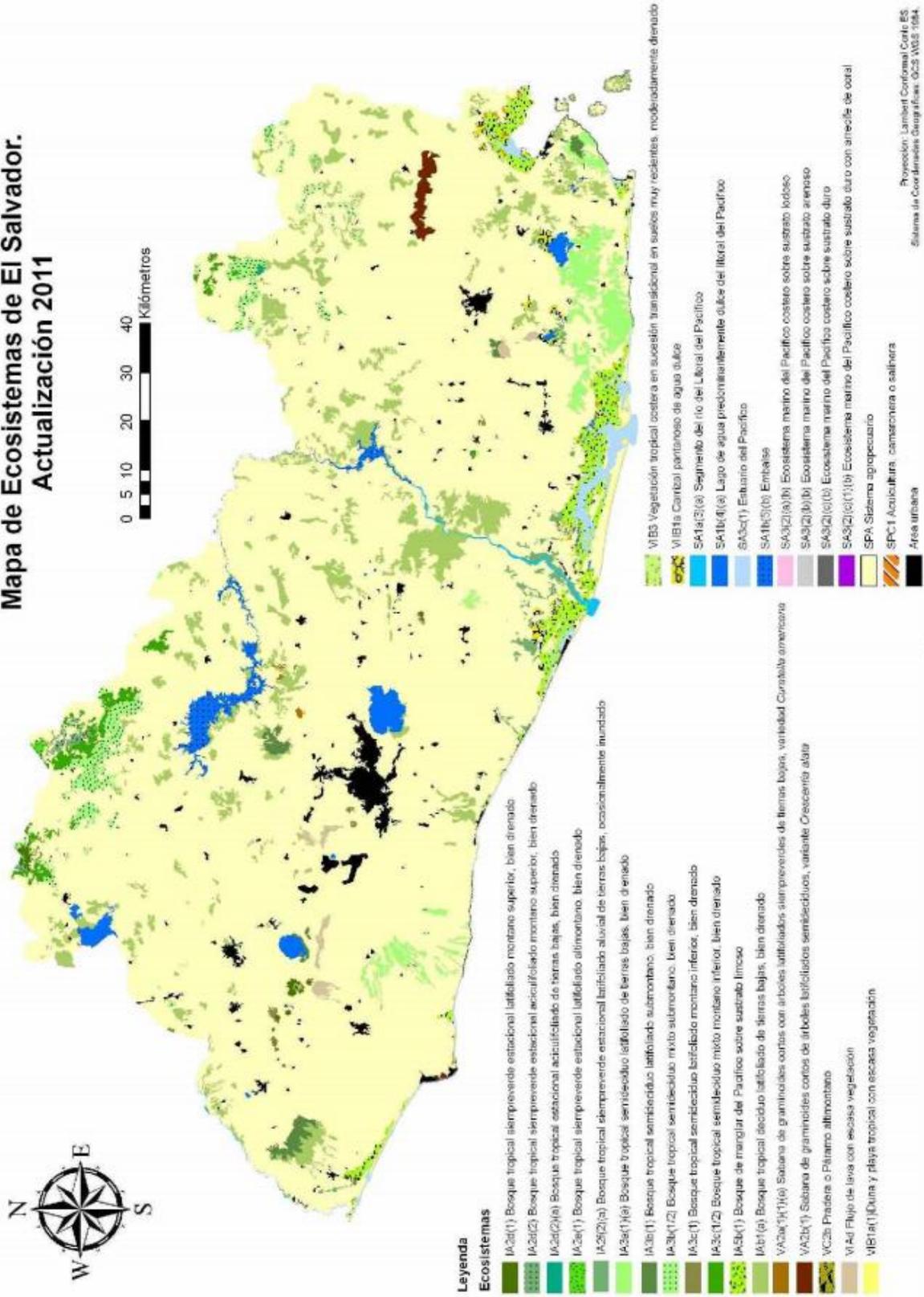


Figura 14. Mapa actualizado de los Ecosistemas de El Salvador (MARN 2011).

4.3. Muestreo y distribución de sitios.

Se realizaron muestreos de tipo mensurativo, debido a que no se controló ninguna variable en la zona de estudio, únicamente se registró cómo se comportaron las variables macro y microclimáticas (temperatura, humedad relativa, viento, luz y radiación solar) durante el periodo que duró la investigación, para tabular e interpretar los datos obtenidos (Esteban 2009).

Se distribuyeron tres sitios de muestro tanto para el microclima como para la vegetación, estos se ubicaron en las laderas Sur y Este, las coordenadas respectivas fueron; **Sitio 1**; $13^{\circ}49'28''\text{N } 89^{\circ}37'20''\text{O}$, **Sitio 2**; $13^{\circ}49'41''\text{N } 89^{\circ}37'18''\text{O}$ y **Sitio 3**; $13^{\circ}49'46''\text{N } 89^{\circ}37'12''\text{O}$, (Figura 15).



Figura 15. Distribución espacial de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Cerro Verde.

4.4. Toma de datos en campo

4.4.1. Período de muestreo

El registro de datos meteorológicos se realizó durante un período de 6 meses, iniciando en agosto del 2016 y finalizando en enero del 2017, los cuales corresponden a finales de la estación lluviosa, transición lluviosa-seca e inicio de la estación seca del 2016 y 2017. Para ello se realizaron 12 viajes de campo, dos por mes, y tres días por viaje, haciendo un total de 6 días por mes. La caracterización microclimática e identificación de la composición de la vegetación Pteridophyta y del dosel del bosque, se realizó simultáneamente en los muestreos de campo. Se utilizó transporte y equipo propio para la realización de la investigación y se contó con el apoyo de colegas para el buen desempeño del diseño metodológico de la investigación en campo. Posteriormente se realizó la fase de laboratorio en la Universidad de El Salvador, con el apoyo del Jardín Botánico Plan de la Laguna.

4.4.2. Caracterización de la composición de la vegetación

Para la recolección de la vegetación en estudio, se establecieron tres sitios y se delimitaron un total de 12 parcelas de 10 x10 (100m²) equivalentes a 1200 m², que corresponden al 5% del área estudiada, que son 24,000 m². Se ubicaron 4 parcelas en cada sitio, representadas por A, B, C y D. Estas parcelas fueron distribuidas y ubicadas en los lugares con más representatividad de especies de helechos. En cada parcela se registró la altura, la circunferencia a 1.3 m de altura (CAP) de las especies arbóreas, el género y la especie si era posible. También se identificaron las especies de Pteridophyta presentes para cada una de las parcelas.

Kessler y Bach 1999, establecen que el área mínima requerida para el estudio de la riqueza pteridológica en bosques del neotrópico es de 400 m² por sitio o comunidad; por tanto, en este estudio se realizó un mayor esfuerzo de muestreo que el sugerido por los anteriores autores.

Para la identificación de especímenes que no se logró determinar en campo, se colectaron muestras botánicas para su posterior identificación y se utilizó la Guía de Identificación de Helechos de El Salvador (Monterrosa 2009), además se contó con el apoyo del jardín botánico LAGU en la identificación de algunas especies (Figura 16).

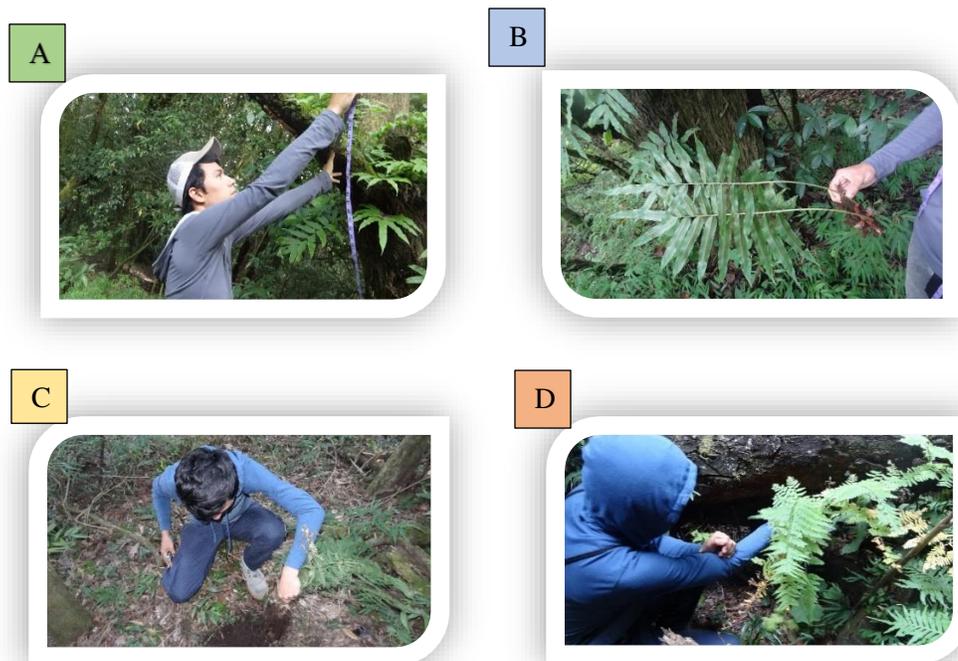


Figura 16. Muestreo de Pteridophyta. A. Medición del rizoma. B, C y D. Proceso de colecta.

4.4.3. Caracterización del macroclima y microclima del sotobosque

Para la caracterización microclimática se utilizaron dos datalogger, dos anemómetros y dos luxómetros. Los datalogger se utilizaron para la medición de las variables meteorológicas: temperatura en grados Celsius y porcentaje de humedad relativa. El anemómetro para medir velocidad del viento en km/h, y el luxómetro para medir la iluminancia en lux, el cual se utilizó para determinar la radiación solar en calorías por centímetro cuadrado por día, bajo la siguiente equivalencia: $76780 \text{ lux} = 1 \text{ cal/cm}^2\text{xmin}^{-1}$.

La distribución y recolecta de datos se realizó de la siguiente manera: un datalogger se utilizó dentro de la zona con cobertura vegetal para el registro del microclima del bosque y otro datalogger fuera de éste, para registrar el macroclima no influenciado por la vegetación.

La toma de datos fue manual, cada hora, haciendo un total de 8 lecturas por día, durante 2 días por cada mes en los 6 meses de la investigación (Tabla 2), (Salazar 2010).

Tabla 2. Distribución espacial y temporal del registro de las lecturas microclimáticas.

Sitio	Coordenadas	Lecturas/Hora							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	13°49'28"N 89°37'20"O	12:00am	3:00am	6:00am	9:00am	12:00m	3:00pm	6:00pm	9:00pm
2	13°49'41"N 89°37'18"O	1:00am	4:00am	7:00am	10:00am	1:00pm	4:00pm	7:00pm	10:00pm
3	13°49'46"N 89°37'12"O	2:00am	5:00am	8:00am	11:00am	2:00pm	5:00pm	8:00pm	11:00pm

Se utilizaron dos anemómetros para medir la velocidad del viento, uno para tomar las lecturas microclimáticas al interior del bosque y otro para tomar lecturas macroclimáticas externas al bosque. Las lecturas se efectuaron de manera simultánea en ambos sitios, cada tres horas, por cada sitio, durante las 24 horas del día (Figura 17).

Para el registro de la radiación solar y luminosidad se emplearon dos luxómetros de manera simultánea: uno se utilizó en el interior del bosque y el otro en el exterior del bosque. Las lecturas se realizaron cada tres horas para cada sitio, durante las 24 horas del día.

Se tabularon los datos y se promediaron en Microsoft Excel para la obtención de los resultados macro y microclimáticos. Finalmente se calcularon los promedios para cada variable meteorológica mensualmente y así determinar las diferencias significativas en relación a la presencia o ausencia de vegetación.



Figura 17. Toma de datos microclimáticos al interior del bosque en estudio, en el Cerro Verde.

4.5. Técnicas de análisis

Los análisis estadísticos que se emplearon fueron los índices ecológicos de diversidad alfa para la vegetación, los cuales indican lo diverso que puede ser un determinado lugar, considerando el número de especies (riqueza) y el número de individuos de cada especie y un análisis de correlación para determinar si existe o no relación entre las variables, en este caso, se utilizó el análisis de correspondencia canónica (Cuadras 2014; Peña 2002).

4.5.1. Índices de diversidad alfa

➤ Índice de Shannon-Wiener

El índice de Shannon se emplea para determinar qué tan diversa es la vegetación en un lugar determinado, en este caso, el bosque del Parque Nacional Cerro Verde, el índice considera que todas las especies se muestrean de una población indefinidamente grande y que todas las especies que componen la comunidad o el hábitat estarán representadas en la muestra (Moreno 2001; Cuadras 2014).

$$H' = -\sum P_i * \ln P_i$$

Donde:

H = Índice de Shannon-Wiener

P_i = Abundancia relativa

\ln = Logaritmo natural

➤ Índice de equitatividad de Pielou (J')

El índice de equitatividad de Pielou se utiliza para presentar la regularidad o uniformidad con que los individuos están distribuidos dentro de las especies. Pielou mide la proporción de la diversidad observada con la diversidad esperada, su valor va de 0 a 1, donde 1 representa abundancias similares o mayor equitatividad (Moreno 2001).

$$\text{Pielou } J' = H/\ln(S)$$

Donde H = índice de diversidad de Shannon y; S = número de especies (o riqueza).

➤ **Índice de Simpson**

El índice de Simpson es otro método utilizado para medir la diversidad de la comunidad vegetal (Cuadras 2014), representa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra, puedan ser de la misma especie; a partir de este índice puede establecerse la diversidad y la dominancia de especies (Moreno 2001). Este último se empleó para identificar la diversidad y dominancia de especies.

$$Si_D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 = 1 - D_{Si}$$

Donde Pi = abundancia proporcional de la especie i

4.5.2. Supuestos Estadísticos Paramétricos

➤ **Supuesto paramétrico de linealidad (Gráfico de dispersión con correlación)**

Un gráfico de dispersión se emplea cuando la variable está bajo el control del que la manipula. De existir un parámetro que fluctúa de forma ordenada por el manipulado de la variable se le denomina parámetro de control o variable independiente y se representa en el eje X mientras que la variable dependiente se representa en el eje Y. Un diagrama de dispersión puede mostrar varios tipos de correlaciones entre las variables con intervalos de confianza predeterminados (Peña 2002). Se empleó el paquete estadístico Statgraphics centurión XVI para llevar a cabo esta prueba.

➤ **Supuesto paramétrico de homocedasticidad (Prueba de Levene)**

La prueba de Levene rechaza la hipótesis de que las varianzas son iguales con un nivel de significancia α si $W > F_{\alpha, k-1, N-k}$ donde $F_{\alpha, k-1, N-k}$ es el valor crítico superior de la distribución F con $k - 1$ grados de libertad en el numerador y $N - k$ grados de libertad en el denominador a un nivel de significancia α (Correa *et al.* 2006). Se utilizó el paquete estadístico Stargraphics centurión XVI para esta prueba.

$$W = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_{i.} - \bar{Z}_{..})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_{i.})^2}$$

donde Z_{ij} puede tener una de las siguientes tres definiciones:

1. $Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i|$ donde \bar{X}_i es la media del i -ésimo subgrupo.
 2. $Z_{ij} = |X_{ij} - \tilde{X}_i|$ donde \tilde{X}_i es la mediana del i -ésimo subgrupo.
 3. $Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}'_i|$ donde \bar{X}'_i la media recortada al 10 % del i -ésimo subgrupo.
- $\bar{Z}_{..}$ es la media global de Z_{ij} y $\bar{Z}_{i.}$ es la media del i -ésimo subgrupo de los Z_{ij} .

➤ **Supuesto paramétrico de Normalidad (Prueba de Shapiro-Wilk)**

La prueba de Shapiro-Wilk se utiliza para determinar la normalidad de los datos.

$$W = \sum_{i=1}^{[n/2]} a_{i,n} (Z_{(n-i+1):n} - Z_{i:n})$$

Siendo $Z_1:n < \dots < Z_n:n$ la muestra ordenada de los datos estandarizados y $a_{i,n}$ ciertas constantes. Consiste en calcular las distancias entre los datos de la muestra ordenada, simétricos respecto de la mediana, esto es, la distancia entre el primero y el último, el segundo y el penúltimo, y así sucesivamente; en general el $Z_{i:n}$ y el $Z_{(n-i+1):n}$. El propósito es comparar estas distancias con las que habría en una muestra de observaciones normales (Peña 2002). Para la prueba de Shapiro-Wilk se utilizó el paquete estadístico Past 3.18.

4.5.3. Transformación de datos

Se realizó una transformación Box-Cox, la cual consiste en corregir las varianzas que estén desiguales y corregir la no linealidad entre las relaciones, por tanto, se utiliza para mejorar la correlación entre las variables (Peña 2002). Esta transformación de los datos se realizó con el paquete estadístico Past 3.18.

4.5.4. Análisis de Correspondencia Canónica

Para relacionar las variables microclimáticas con la abundancia de la vegetación Pteridophyta, se utilizó estadística multivariada, para este caso, el análisis de correspondencia canónica, el cual, se realizó con el paquete estadístico Past 3.18.

Según Vertel (2010) el análisis de correspondencia canónica (ACC) es uno de los métodos que se utilizan para relacionar entre un grupo de frecuencias (conteos, porcentajes, etcétera) con variables continuas (cualitativas, cuantitativas o ambas) sobre un mismo conjunto de individuos. Se ejecuta de la siguiente manera:

1. El grupo de *frecuencias* T juega el papel de *variables de respuesta o dependientes* y el grupo de *variables continuas* juega el papel de *variables independientes o explicativas*. Para el análisis, el grupo de variables continuas se estandariza (la tabla estandarizada se nota por Z_o). A partir de la tabla T (grupo de frecuencias) se obtiene $Y = D_i^{-1} F D_j^{-1}$, con término general, $Y_{ij} = f_{ij} / f_i * f_j$.
2. Los valores de Y se estiman mediante una regresión múltiple ponderada sobre el grupo de variables continuas estandarizadas Z_o , $Y = Z_o B$, con $B = (Z_o' D_i Z_o)^{-1} Z_o' F D_j^{-1}$. Y es la proyección sobre el subespacio generado por Z_o , es decir: $Y = P_z D_i^{-1} F D_j^{-1}$ donde: $P_z = Z_o (Z_o' D_i Z_o)^{-1} Z_o' D_i$, es el D_i -proyector. A partir de Y se puede calcular la tabla de *frecuencias predichas* T: $T = D_i Y D_j$
3. Finalmente se realiza el análisis de correspondencias (AC) de la tabla de frecuencias estimadas T, que es el análisis en componentes principales ponderado de Y; con métricas para filas y columnas $D_j = \text{diag}(f_{.j})$ y $D_i = \text{diag}(f_{i.})$, que son las mismas utilizadas en el análisis de correspondencias simples (ACS) de la tabla de frecuencias T.

En resumen, el ACC, es el ACP (Y, D_j , D_i). Todas las fórmulas se pueden derivar de las fórmulas correspondientes del ACP (X, M, D) (Vertel 2010).

5. RESULTADOS

5.1. Comportamiento macro y microclimático promedio horario de la estación lluviosa

5.1.1. Temperatura promedio horaria

El promedio de temperatura más bajo del microclima fue de 14.1 °C y se registró a las 7:00 horas y del macroclima fue de 14.7 °C a las 5:00 horas; la más alta fue de 19.0 °C y se registró a las 13:00 horas en el microclima y de 22.4 °C a las 15:00 horas en el macroclima; con una oscilación térmica máxima del microclima de 4.9 °C. La amplitud térmica diaria más alta en relación al macroclima, fue de 5.4 °C, a las 15:00 horas, lo que corresponde a un porcentaje de atenuación máximo del 24% (Tabla 3), (Figura 18).

5.1.2. Humedad relativa promedio horaria

El promedio de humedad relativa más bajo del microclima fue de 72.9% y se registró a las 13:00 horas y de 72.9% a las 10:00 horas en el macroclima; la más alta fue de 88% y se registró a las 16:00 horas en el microclima y de 91.9% a las 5:00 horas en el macroclima; con una oscilación máxima de 15.1% en el microclima. La amplitud más alta de la variable en relación al macroclima fue de 20.6%, a las 15:00 horas, lo que corresponde a un porcentaje máximo de atenuación del 24% (Tabla 3), (Figura 19).

5.1.3. Velocidad del viento promedio horaria

El promedio de la velocidad de viento más bajo fue de 0.1 Km/h en diferentes horas para el microclima, en el macroclima la más baja fue de 5.6 Km/h a las 12:00 horas las velocidades mayores fueron de 13.6 y 13.1 Km/h y se registraron a las 6:00 y 9:00 horas respectivamente. La oscilación máxima del viento fue de 13.2 Km/h a nivel microclimático. La mayor amplitud de la variable en relación al macroclima fue de 11.1 Km/h a las 7:00 horas, con un porcentaje máximo de atenuación del 99.1% (Tabla 3), (Figura 20).

5.1.4. Luminosidad promedio horaria

Los valores más bajos de luz corresponden al amanecer y atardecer, siendo los valores mínimos de 0 lux durante las horas nocturnas. El valor máximo de luminosidad fue de 2300

lux a las 11:00 en el microclima y de 112000 lux a las 13:00 horas en el macroclima. La mayor amplitud de la variable en relación al macroclima fue a las 13:00 horas con 11010 lux, equivalente a un porcentaje máximo de atenuación del 98.3% (Tabla 3), (Figura 21).

5.1.5. Radiación solar promedio horaria

El valor más bajo fue de 0.0 Cal/cm²*min en la noche. El valor máximo de radiación solar fue de 0.02995 Cal/cm²*min a las 11:00 horas en el microclima y de 1.45 Cal/cm²*min a las 13:00 horas en el macroclima. La mayor amplitud de la variable en relación al macroclima fue a las 13:00 horas con 1.456 Cal/cm²*min, lo que corresponde a un porcentaje máximo de atenuación del 99.83% (Tabla 3), (Figura 22).

Tabla 3. Valores promedio horarios correspondientes a la estación lluviosa. Datos tomados para las fechas 24, 25 y 26 de septiembre del 2016.

Hora/ variable	T °C		% HR		Viento Km/h		(Luminosidad) Lux		Radiación solar (Cal/cm ² *min)	
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro
0:00	15.3	15	88.6	81	11	7.3			0	0
1:00	15.8	14.5	88.7	83.3	9	0.9			0	0
2:00	15.1	15.1	90.5	84	9.2	1.1			0	0
3:00	15.1	14.8	89.1	82	9	9.2			0	0
4:00	15.6	14.2	87.8	83.5	10.7	0.2			0	0
5:00	14.7	15	91.9	84.3	8.7	2.8			0	0
6:00	14.9	14.7	89.8	83.3	8	13.6			0	0
7:00	17.7	14.1	74.7	81.6	11.2	0.1	53000	3	0.69028393	3,91E-01
8:00	18.1	16	69.5	80.6	10.5	0.2	59800	122	0.77884866	0.00158896
9:00	18.8	18.2	67.2	74.4	6.1	13.1	64500	245	0.84006252	0.00319094
10:00	19.9	17.5	72.9	79.8	7	0.1	63800	822	0.83094556	0.01070591
11:00	20	17.1	68.5	77.3	6.8	0.2	84300	2300	109.794.217	0.02995572
12:00	20.3	18.6	67.7	80.1	5.6	5.6	93000	1275	121.125.293	0.01660589
13:00	22.3	19	64.9	72.9	6.7	2.8	112000	190	145.871.321	0.0024746
14:00	21.6	17.6	65.2	81.1	8.2	0.5	101000	1100	131.544.673	0.01432665
15:00	22.4	17	64.4	85	6.5	4.5	98000	200	127.637.406	0.00260485
16:00	17.2	16.1	73.7	88	11.4	5.5	3000	280	0.03907268	0.00364678
17:00	16.8	16.2	81.4	75.3	7.3	0.2	1200	175	0.01562907	0.00227924
18:00	16.3	16	85.3	81.3	5.9	8.6	69	37	0.00089867	0.0004819
19:00	15.5	15.5	87.4	87.3	10	0.1			0	0
20:00	15.4	15.4	90.3	87.9	13.3	3.1			0	0
21:00	15.4	15.3	90.9	87.6	12.4	8.4			0	0
22:00	15.4	15.2	84	85	9.4	0.1			0	0
23:00	15.4	15.1	86.6	84	9.8	0.3			0	0

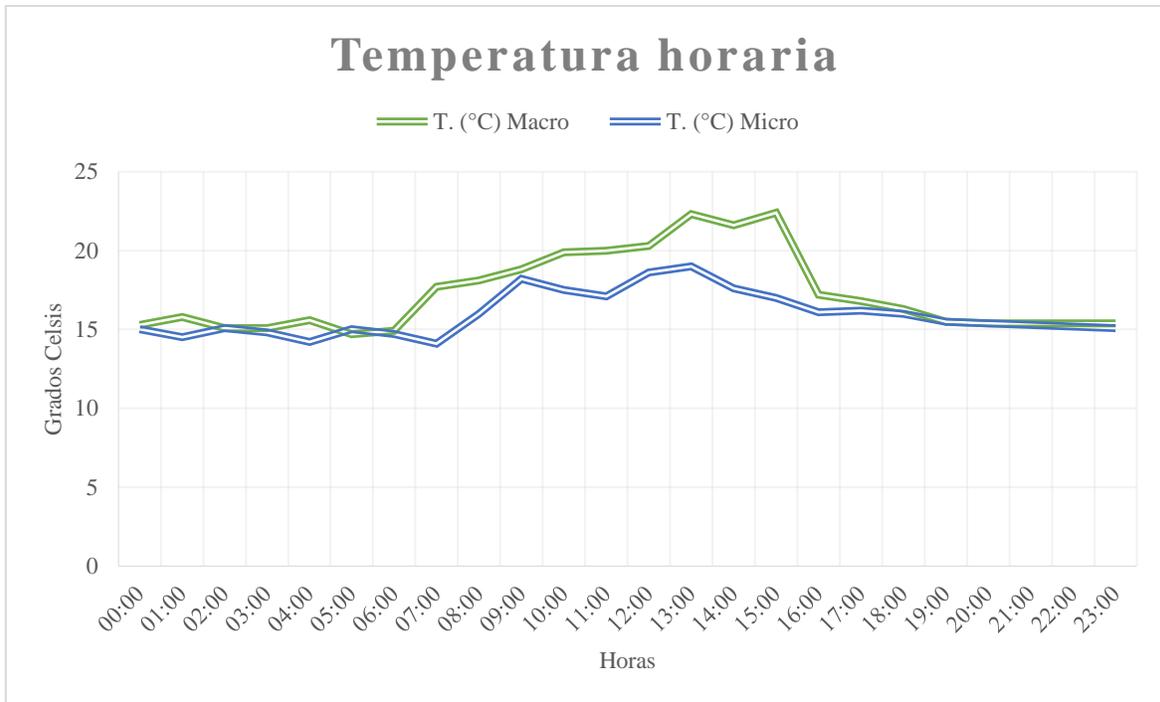


Figura 18. Promedio de la temperatura horaria en la estación lluviosa (septiembre-2016).

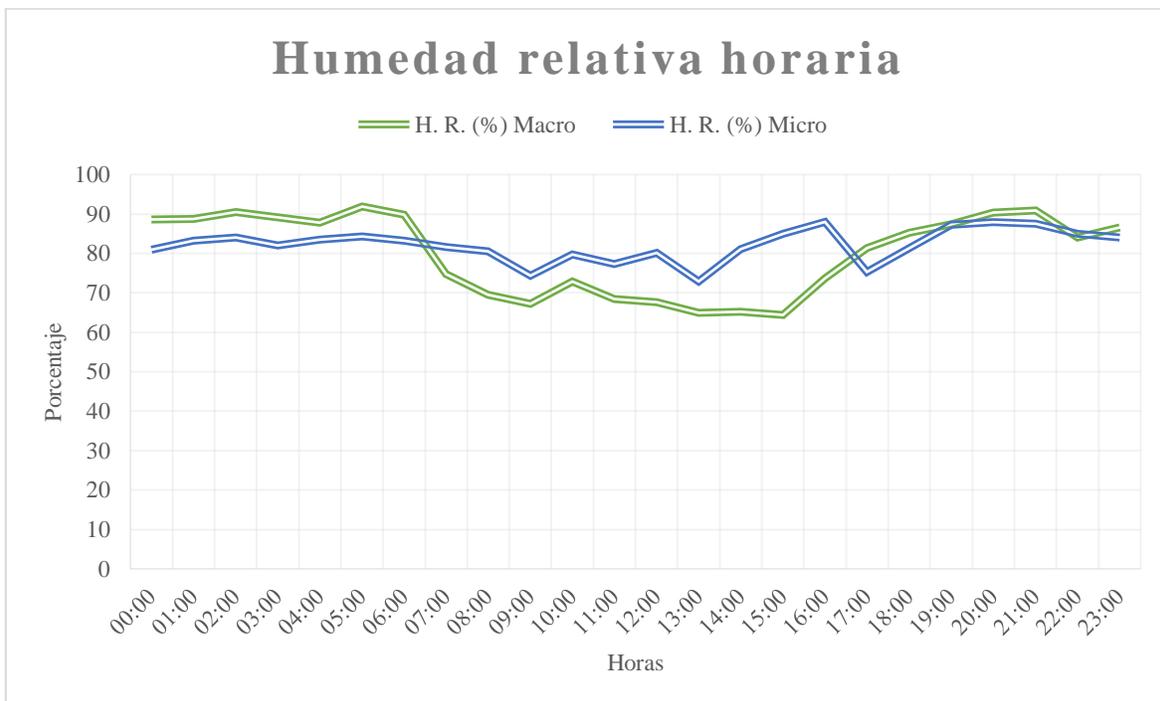


Figura 19. Promedio de la humedad relativa horaria en la estación lluviosa (septiembre-2016).

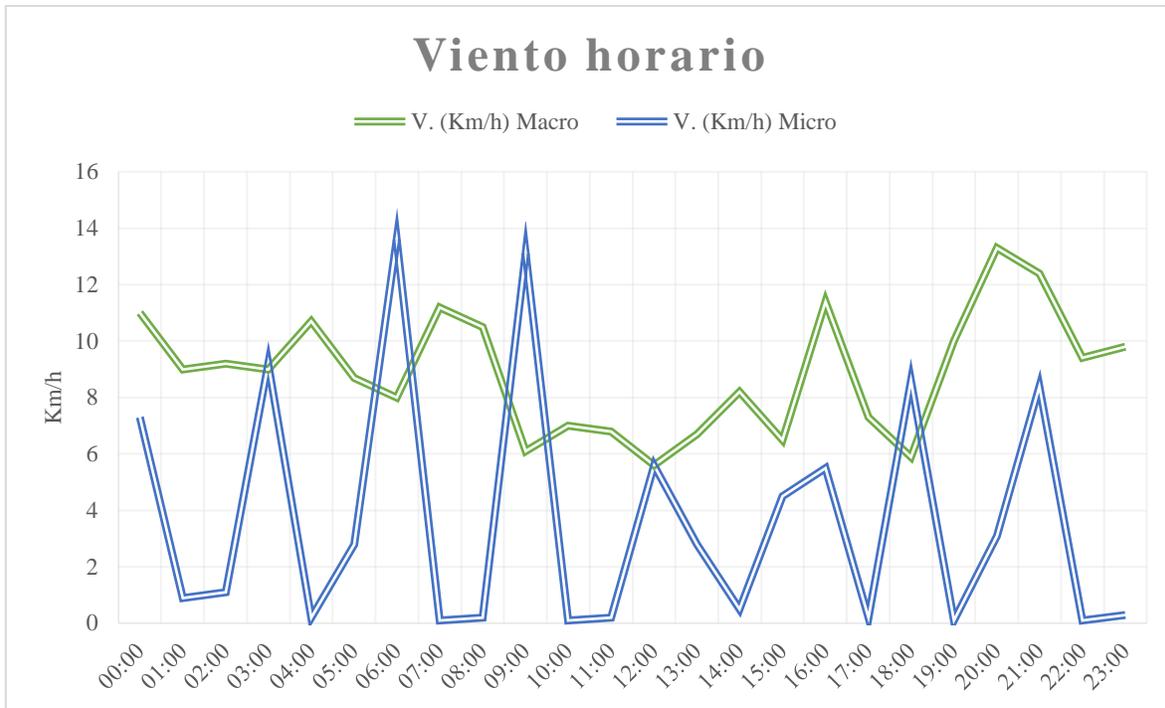


Figura 20. Promedio de la velocidad del viento horaria en la estación lluviosa (septiembre-2016).

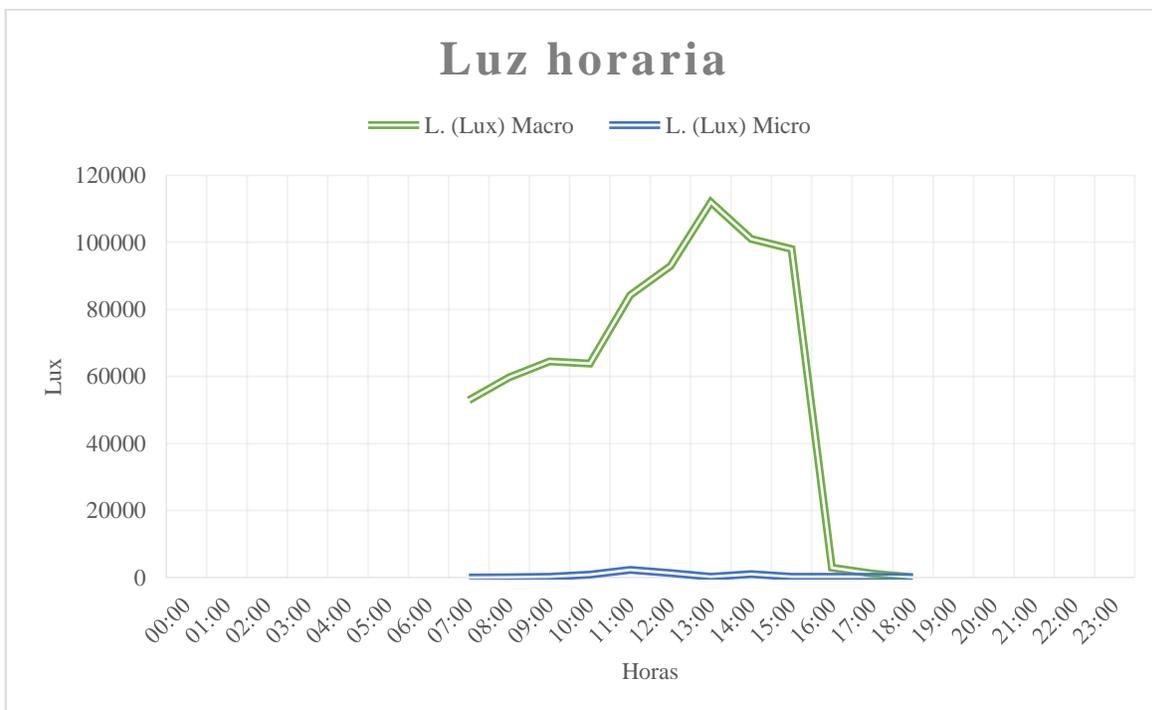


Figura 21. Promedio de la luz horaria en la estación lluviosa (septiembre-2016).

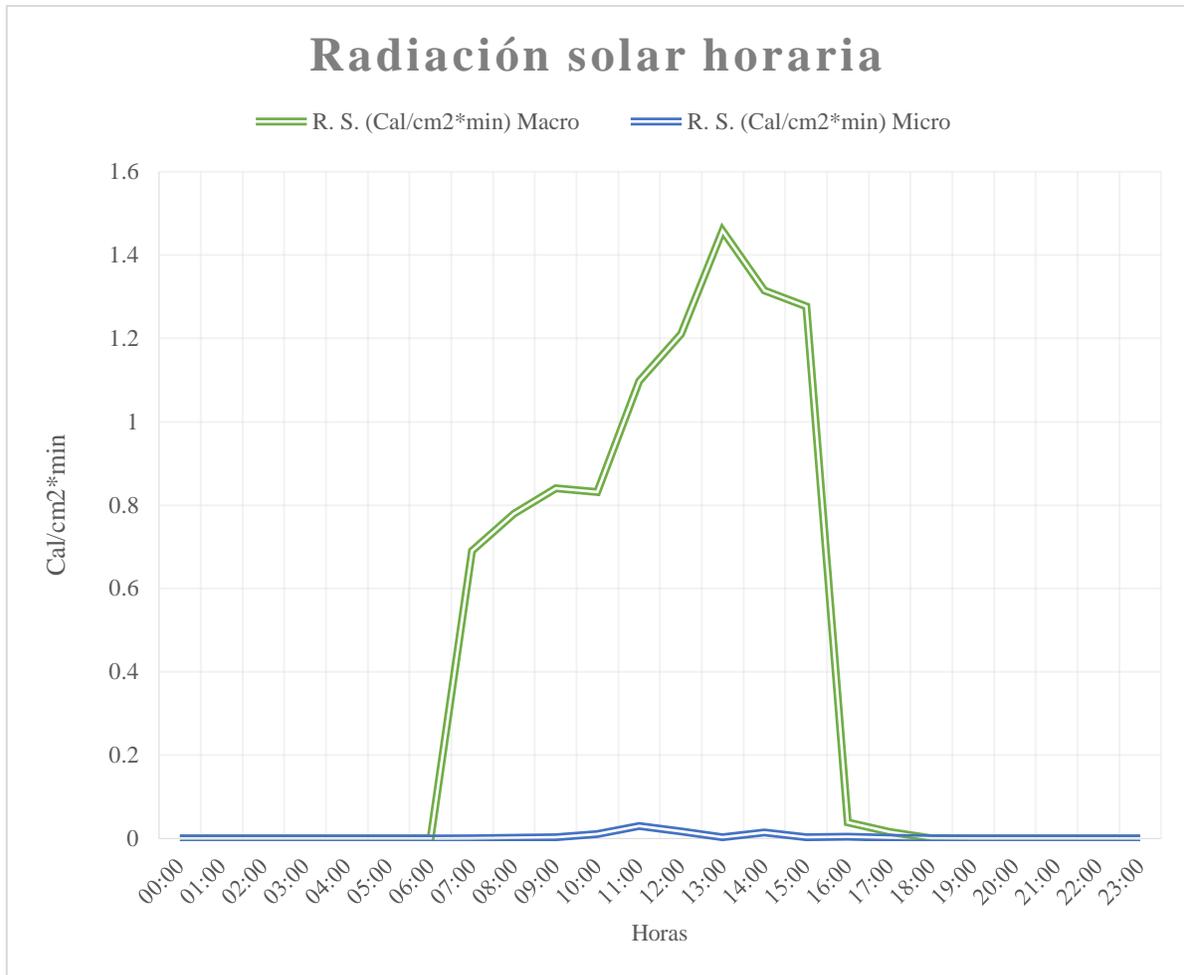


Figura 22. Promedio de la radiación solar horaria en la estación lluviosa (septiembre-2016).

5.2. Comportamiento macro y microclimático promedio horario de la estación seca.

5.2.1. Temperatura promedio horaria

El promedio de temperatura más bajo del microclima fue de 11.0 °C a las 4:00 y 5:00 horas, y de 10.7 °C a las 5:00 horas en el macroclima, el más alto con 19.25 °C a las 12:00 horas en el microclima y 20.0 °C a las 12:00 horas en el macroclima; con una oscilación térmica máxima de 8.25 °C en el microclima. La amplitud térmica diaria más alta en relación al macroclima fue de 4.65 °C a las 15:00 horas, lo que corresponde a un porcentaje de atenuación máximo del 23.84% (Tabla 4) y (Figura 23).

5.2.2. Humedad relativa promedio horaria

El promedio de humedad relativa más bajo del microclima fue de 63.9% y se registró a las 12:00 horas y de 61% a las 12:00 horas en el macroclima y el más alto fue de 78.9% a las 7:00 horas en el microclima y de 87.1 a las 0:00 horas en el macroclima. La oscilación máxima de la variable fue de un 15% en el microclima. La mayor amplitud de la variable en relación al macroclima fue de 18.7% a las 3:00 horas, lo que corresponde a un porcentaje máximo de atenuación del 21.79% (Tabla 4) y (Figura 24).

5.2.3. Velocidad del viento promedio horaria

El promedio de la velocidad de viento más bajo del microclima fue de 0.3 Km/h a las 1:00 horas y de 3.6 Km/h a las 0:00 horas en el macroclima, la mayor velocidad del viento fue de 20.06 Km/h a las 4:00 y 15:00 en el microclima y de 17.2 Km/h a las 14:00 horas en el macroclima. La oscilación horaria microclimática máxima del viento fue de 20.3 Km/h. La mayor amplitud de la variable en relación al macroclima fue de 18.9 Km/h a las 21:00 horas, con un porcentaje máximo de atenuación del 76.5% (Tabla 4) y (Figura 25).

5.2.4. Luminosidad promedio horaria

Los valores más bajos de luz corresponden al amanecer y atardecer, siendo los valores mínimos de 0 lux durante las horas nocturnas. El valor máximo de luminosidad a nivel microclimático fue de 1825 lux a las 13:00 horas y de 111000 lux a las 12:00 horas en el macroclima. La mayor amplitud de la variable en relación al macroclima fue de 110800 lux, a las 12:00 horas, lo que corresponde a un porcentaje máximo de atenuación del 99.82% (Tabla 4) y (Figura 26).

5.2.5. Radiación solar promedio horaria

Los valores más bajos de radiación solar corresponden al amanecer y atardecer, siendo los valores mínimos de 0 Cal/cm²*min durante las horas nocturnas. El valor máximo de radiación solar a nivel microclimático fue de 1.44 Cal/cm²*min a las 12:00 horas y de 1.44 Cal/cm²*min a las 12:00 horas en el macroclima. La mayor amplitud de la radiación solar en relación al macroclima fue de 1.443 Cal/cm²*min a los 12:00 horas, lo que corresponde a un porcentaje máximo de atenuación del 99.82% (Tabla 4) y (Figura 27).

Tabla 4. Valores promedio horarios correspondientes a la estación seca. Datos tomados para las fechas 26, 27 y 28 de enero del 2017.

Hora/ variable	T °C		% HR		Viento Km/h		(Luminosidad)Lux		Radiación solar (Cal/cm ² *min)	
	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro	Macro	Micro
0:00	12.4	13.4	87.1	72.8	3.6	5.4			0	0
1:00	11.1	11.6	72.3	69.7	4.2	0.3			0	0
2:00	11.2	11.2	83.3	73	4.9	2.1			0	0
3:00	11	12	85.8	67.1	5.7	3.4			0	0
4:00	10.8	11	71.2	69.9	13.5	20.6			0	0
5:00	10.7	11	74	75	12.1	6.3			0	0
6:00	12	11.8	77.4	69.8	12.3	7.5			0	0
7:00	13.55	12.85	76.6	78.9	15.1	5.6	6915	280	0.09006252	0.00364678
8:00	13.8	13.95	76.75	72.95	9.4	4.8	4395	312.5	0.05724147	0.00407007
9:00	14.5	17.85	80.1	66.85	9.8	14.7	4000	230	0.0520969	0.00299557
10:00	17.8	17.6	65.7	72.1	9.3	5	105000	1300	136.754.363	0.01693149
11:00	19.2	17.35	64.5	66.4	7.9	5	108000	390	140.661.631	0.00507945
12:00	20	19.25	61	63.9	6.1	11.2	111000	200	144.568.898	0.00260485
13:00	19.8	19.1	69	70.35	14	5.65	55550	1825	0.7234957	0.02376921
14:00	18.2	15.3	68.45	68.5	17.2	3.9	47925	835	0.62418599	0.01087523
15:00	19.5	14.85	70.55	73.8	13.5	20.6	64500	268.5	0.84006252	0.003497
16:00	14.2	15.45	76.9	75.05	12.1	6.3	7250	607.5	0.09442563	0.00791222
17:00	14.6	13.95	77.7	76.95	12.3	7.5	3010	140	0.03920292	0.00182339
18:00	14.4	14.35	75	74.5	15.6	7.3	2000	70	0.02604845	0.0009117
19:00	12.2	12.7	71.5	74.6	13.8	3.8			0	0
20:00	11.4	11.8	64.3	71.9	16.5	8.9			0	0
21:00	12	12	62.4	72.4	24.7	5.8			0	0
22:00	12.7	12.9	83.8	80	9.6	5.6			0	0
23:00	12.7	13.2	86.4	72.6	8	3.5			0	0

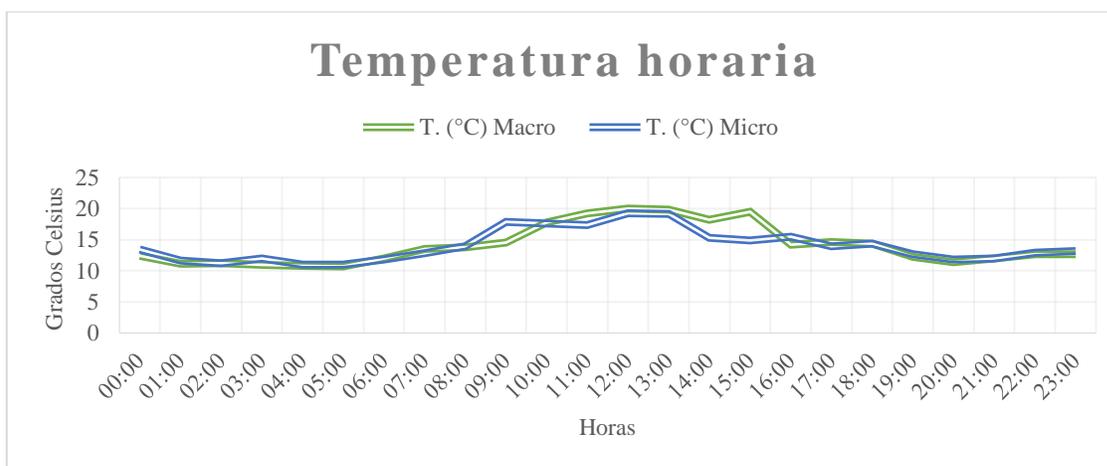


Figura 23. Promedio de la temperatura horaria promedio de la estación seca (enero-2017).

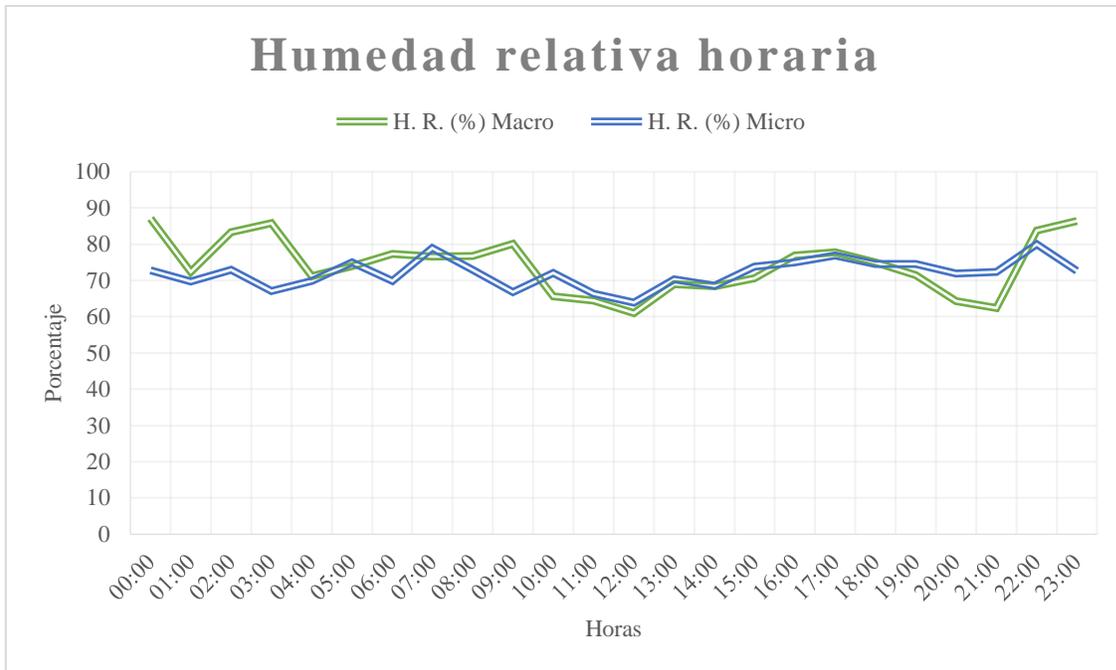


Figura 24. Promedio de la humedad relativa horaria de la estación seca (enero-2017).

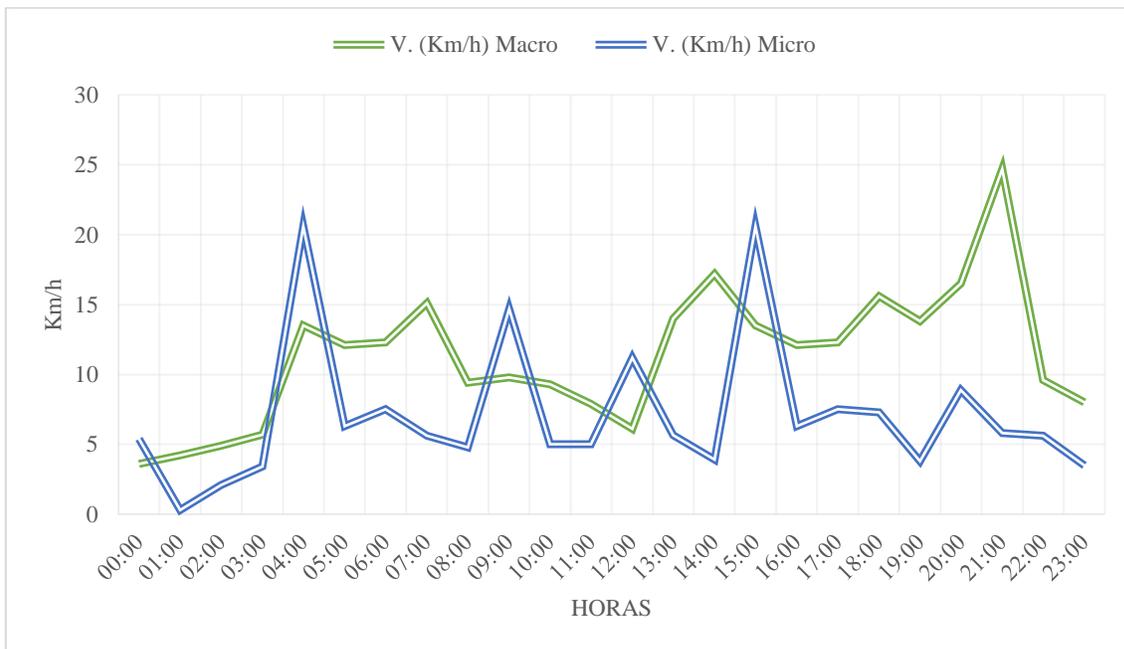


Figura 25. Promedio de la velocidad del viento horaria en estación seca (enero-2017).



Figura 26. Promedio de luminosidad horaria de la estación seca (enero-2017).

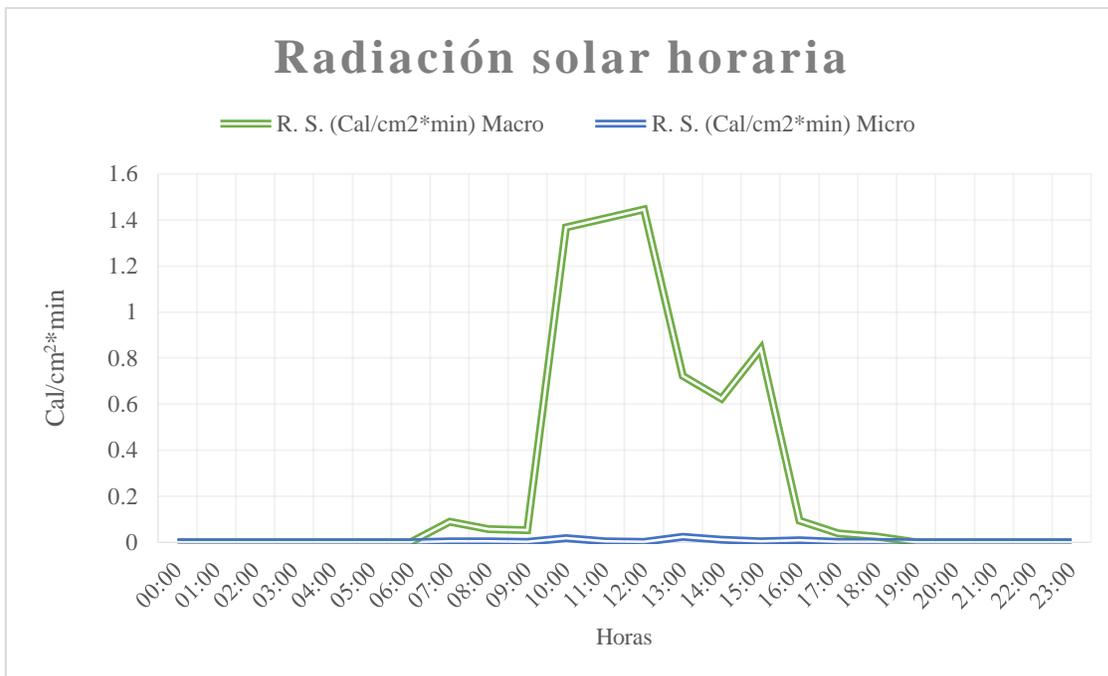


Figura 27. Promedio de la radiación solar horaria promedio de la estación seca (enero-2017).

5.3. Comportamiento macro y microclimático promedio mensual

Tabla 5. Valores promedios mensuales para cada una de las variables, divididas en los tres sitios de toma de datos microclimáticos.

Año / Meses			2016					2017	Promedio
Variable	Lugar	Clima	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	
Temperatura promedio (°C)	Sitio 1	Macro	17.15	17.42	16.3	17.17	15.42	14.01	16.2
		Micro	16.56	15.76	15.83	15.75	15.26	14.15	15.6
	Sitio 2	Macro	17.55	17.13	16.22	16.58	15.59	13.97	16.2
		Micro	16.15	15.93	15.67	15.61	15.26	13.46	15.3
	Sitio 3	Macro	16.9	17.31	16.66	16.65	15.3	14.47	16.2
		Micro	16.82	16.2	16.32	16.17	15.16	14.43	15.9
Humedad Relativa (%)	Sitio 1	Macro	79.08	79.26	78.2	76.91	77.93	73.37	77.5
		Micro	81.46	82.67	80.4	79.02	79.52	73.82	79.5
	Sitio 2	Macro	74.92	80.48	76.91	75.7	75.42	72.16	75.9
		Micro	78.32	81.81	79.02	76.43	76.52	74.42	77.8
	Sitio 3	Macro	74.55	80.37	75.15	75.03	74.53	70.14	75.0
		Micro	80.9	81.83	78.98	78.68	77.31	74.91	78.8
Viento (Km/h)	Sitio 1	Macro	7.93	9.42	9.77	13.93	11.8	11.45	10.7
		Micro	0.93	1.22	4.02	4.78	4.66	6.6	3.7
	Sitio 2	Macro	7.4	9.22	11.57	11.41	9.31	11.03	10.0
		Micro	1.45	1.05	6.51	5.48	4.86	5.25	4.1
	Sitio 3	Macro	7.05	8.06	10.3	11.26	12.35	11.41	10.1
		Micro	6.38	8.78	8.97	10.31	12.16	9.48	9.3
Luz (Lux)	Sitio 1	Macro	17008	57950	77925	47177	37974	43678	46952
		Micro	167	323	378	520	781	1003	528.6
	Sitio 2	Macro	16782	61575	70250	36506	3317	4083	32085.5
		Micro	260	924	401	478	589	419	511.8
	Sitio 3	Macro	31168	63892	65924	38583	48010	45375	48825.3
		Micro	216	439	294	300	312	192	292.1
Radiación Solar (Cal/cm ² *min)	Sitio 1	Macro	0.22	0.37	0.5	0.3	0.30	0.28	0.32
		Micro	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.006	0.003
	Sitio 2	Macro	0.218	0.4	0.45	0.23	0.22	0.26	0.296
		Micro	0.003	0.006	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003
	Sitio 3	Macro	0.4	0.41	0.53	0.31	0.37	0.29	0.385
		Micro	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001

5.3.1. Temperatura promedio mensual por sitios

5.3.1.1. Temperatura promedio mensual del sitio 1.

La temperatura microclimática para el sitio 1 tuvo un promedio de 15.6 °C y una macroclimática de 16.2 °C y presentó una tendencia decreciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca, producto de las masas de aire frío que descienden de las latitudes mayores durante el invierno astronómico del hemisferio Norte. La temperatura microclimática promedio más baja se registró en enero con 14.15°C y la más alta en agosto con 16.15 °C, la macroclimática más baja fue de 14.01 °C en diciembre y la más alta de 17.42 °C en septiembre. La amplitud térmica más alta, en relación al macroclima fue en septiembre, con 1.66 °C de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 9.53% (Tabla 5) y (Figura 28).

5.3.1.2. Temperatura promedio mensual del sitio 2.

La temperatura microclimática para el sitio 2 tuvo un promedio de 15.3 °C y 16.2 para el macroclima y presentó una tendencia decreciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca, producto de las masas de aire frío que descienden de las latitudes mayores en el invierno astronómico del hemisferio Norte. La temperatura microclimática promedio más baja se registró en enero con 13.46 °C y la más alta en agosto con 16.56 °C. Para el macroclima la más baja fue de 13.97 °C en enero y la más alta de 17.55 °C en agosto. La amplitud térmica más alta, en relación al macroclima fue en agosto, con 1.4 °C de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 7.97% (Tabla 5) y (Figura 29).

5.3.1.3. Temperatura promedio mensual del sitio 3.

La temperatura microclimática para el sitio 3 tuvo un promedio de 15.6 °C y un promedio del macroclima de 16.2 °C y presentó una tendencia decreciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca, igualmente producto las masas de aire frío que descienden de las latitudes mayores durante el invierno astronómico del hemisferio Norte. La temperatura microclimática promedio más baja se registró en enero con 14.43 °C y la más alta en agosto con 16.82 °C. La temperatura macroclimática más baja se registró en enero con 14.47 °C y la más alta en septiembre con 17.31 °C.

La amplitud térmica más alta, en relación al macroclima fue en septiembre, con 1.11 °C de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 6.41 % (Tabla 5) y (Figura 30).

5.3.1.4. Comparación de la temperatura promedio mensual entre sitios.

En los tres sitios se observó una tendencia similar ya que, todas decrecen hacia los meses de diciembre y enero, meses que presentan los valores de temperatura más bajos en el país. La temperatura promedio más alta fue para el sitio 3, y la más baja para el sitio 2. La amplitud térmica más alta se presentó en el sitio 1 y la más baja en el sitio 3, dando lugar a un porcentaje de atenuación de la variable, mayor en el sitio 1 y menor en el sitio 2, para el sitio 1 el bosque es joven y menos cerrado, permitiendo que el viento y demás variables ingresen con mayor facilidad, aumentando las diferencias térmicas entre el microclima del sitio 1 y el macroclima. Además, se observó que el microclima presentó un promedio de temperatura más bajo que el macroclima durante todos los meses de la investigación.

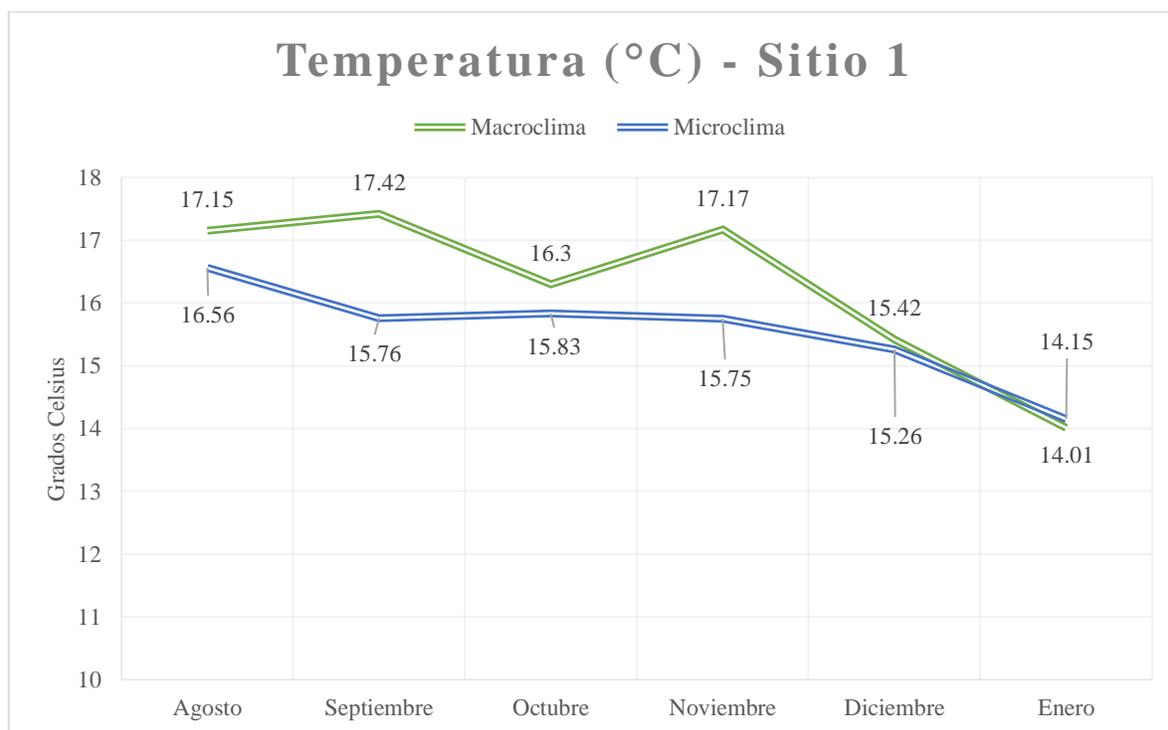


Figura 28. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la temperatura, correspondientes al sitio 1 para el periodo 2016-2017.

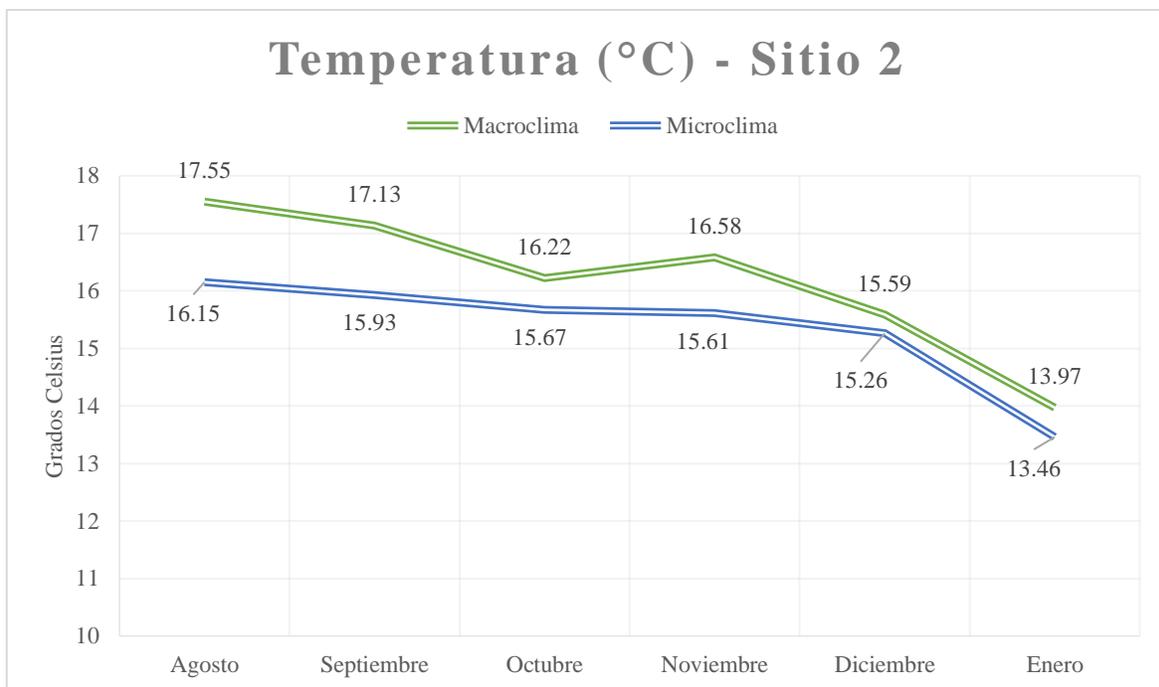


Figura 29. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la temperatura, correspondientes al sitio 2 para el periodo 2016-2017.

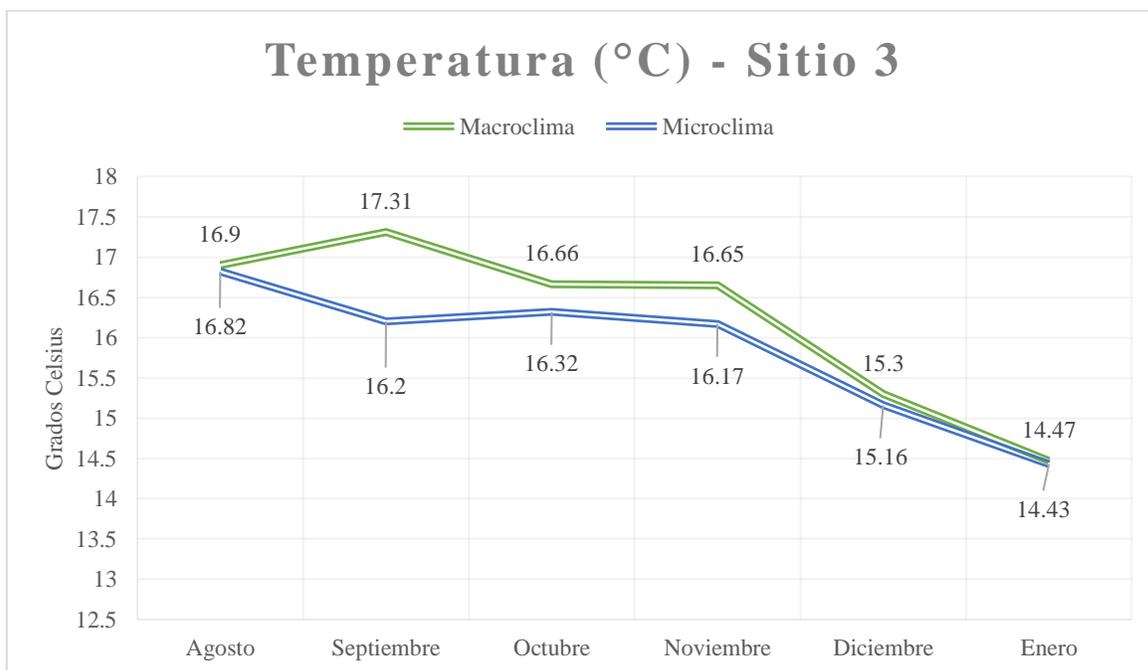


Figura 30. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la temperatura, correspondientes al sitio 3 para el periodo 2016-2017.

5.3.2. Humedad relativa promedio mensual por sitios

5.3.2.1. Humedad relativa promedio mensual del sitio 1.

La humedad relativa microclimática para el sitio 1 tuvo un promedio de 79.5%, y un 77.5% para el macroclima; en ambas presentó una tendencia decreciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca, debido a la ausencia de lluvias que presenta la estación y los vientos secantes que dominan el ambiente. La humedad relativa microclimática promedio más baja se registró en enero con 73.82% y la más alta en septiembre con 82.67%. La macroclimática más baja se registró siempre en enero con 73.37% y la más alta en septiembre con 79.26%. La amplitud más alta de la variable, en relación al macroclima fue en septiembre, con 3.41% de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 4.12% (Tabla 5 y Figura 31).

5.3.2.2. Humedad relativa promedio mensual del sitio 2.

La humedad relativa microclimática para el sitio 2 tuvo un promedio de 77.8% y 75.9% para el macroclima: en ambos presentó una tendencia similar al sitio 1, decreciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca, igualmente producto de la ausencia de lluvias y los vientos secantes que soplan en la estación seca. La humedad relativa microclimática promedio más baja se registró en enero con 74.42% y la más alta en septiembre con 81.81%. La macroclimática más baja se registró en enero con 72.16% y la más alta en septiembre con 80.48%. La amplitud más alta de la variable, en relación al macroclima fue en agosto, con 3.4% de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 4.34% (Tabla 5 y Figura 32).

5.3.2.3. Humedad relativa promedio mensual del sitio 3.

La humedad relativa microclimática para el sitio 3 tuvo un promedio de 78.8% y 75.0% para el macroclima, ésta presentó una tendencia similar al sitio 1 y 2, decreciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca, producto de la ausencia de lluvias y los vientos secantes de la estación. La humedad relativa microclimática promedio más baja se registró en enero con 70.14% y la más alta en septiembre con 81.83%. La macroclimática más baja se registró en enero con 70.14% y la más alta en septiembre con 80.37%.

La amplitud térmica más alta, en relación al macroclima fue en agosto, con 6.35% de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 7.84 % (Tabla 5 y Figura 33).

5.3.2.4. Comparación de la humedad relativa promedio mensual entre sitios.

En los tres sitios se observó una tendencia similar ya que todas decrecen hacia los meses de diciembre y enero, meses que presentan los valores de humedad relativa más bajos en el país, a causa de la ausencia de precipitaciones y los frentes fríos que traen consigo vientos secantes por el efecto Foehn, sin embargo, la deposición por niebla contribuye en gran medida a la presencia de una humedad relativamente alta, incluso en la estación seca. La humedad relativa promedio más alta fue para el sitio 1 y la más baja para el sitio 2. La amplitud térmica más alta se presentó en el sitio 3 y la más baja en el sitio 2, dando lugar a un porcentaje de atenuación de la variable mayor en el sitio 3 y menor en el sitio 2, la causa de esto podría ser a que el sitio 3 se encuentra en la ladera este del Cerro Verde, la más expuesta a los vientos secantes, lo que disminuye la humedad notablemente durante los eventos de “norte” que se presenten en la localidad.

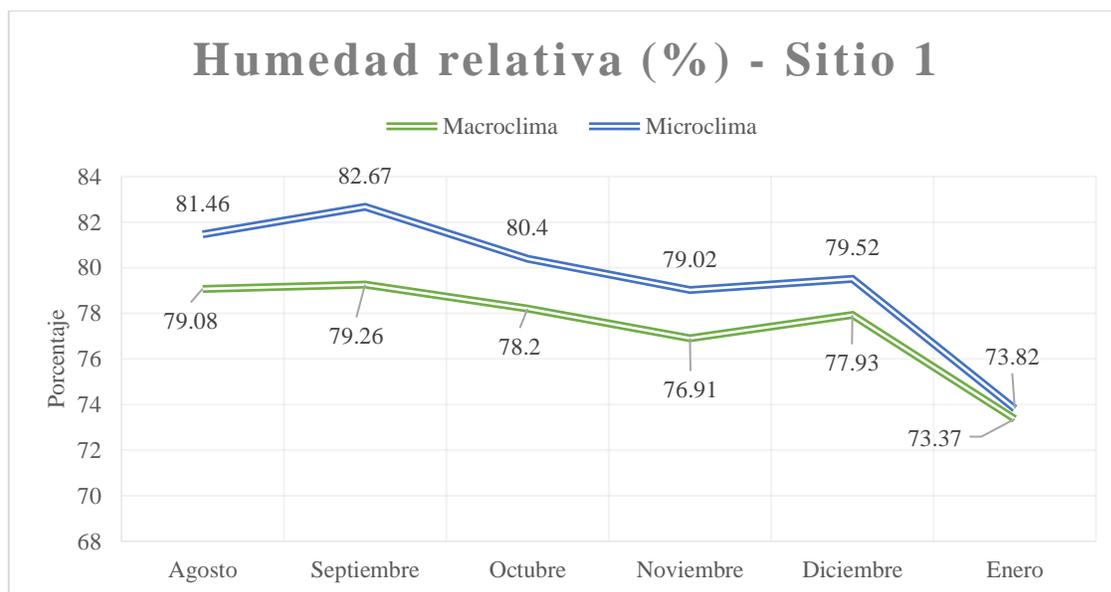


Figura 31. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la humedad relativa, correspondientes al sitio 1 para el periodo 2016-2017.

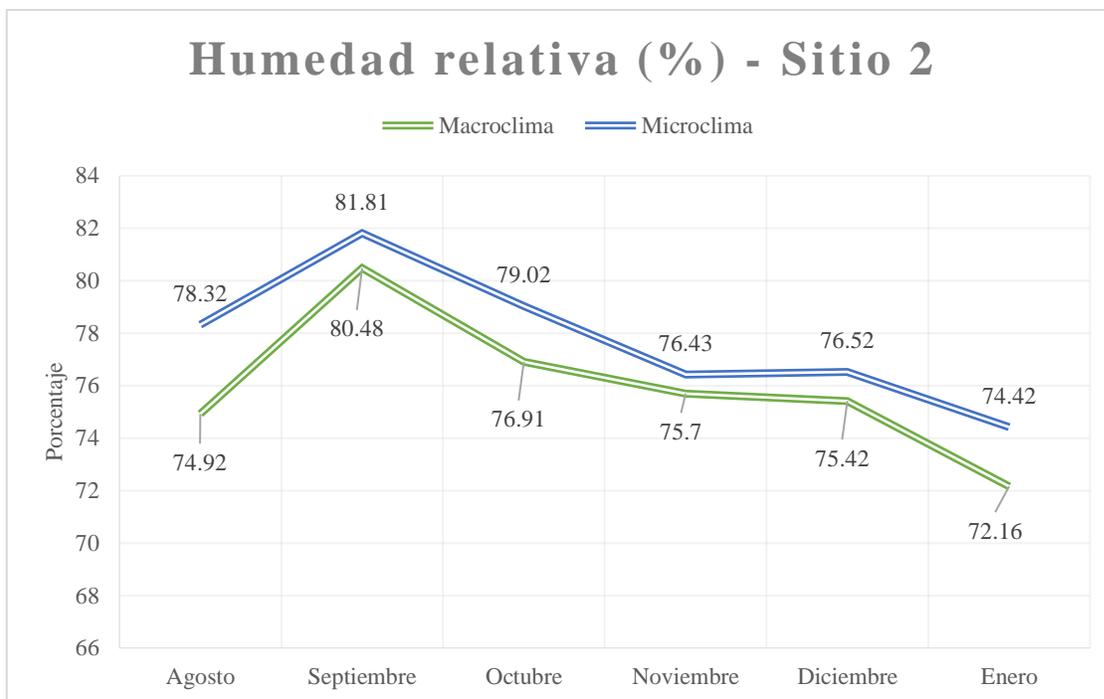


Figura 32. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la humedad relativa, correspondientes al sitio 2 para el periodo 2016-2017.

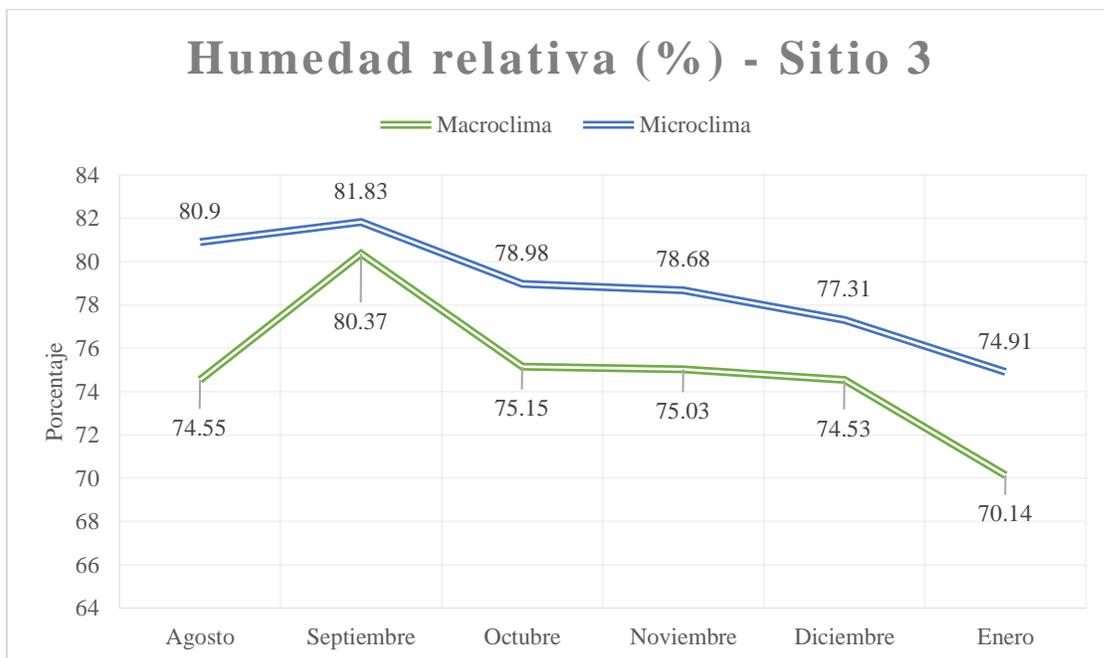


Figura 33. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la humedad relativa, correspondientes al sitio 3 para el periodo 2016-2017.

5.3.3. Viento promedio mensual por sitios

5.3.3.1. Viento promedio mensual del sitio 1.

La velocidad del viento microclimático para el sitio 1 tuvo un promedio de 3.7 Km/h y 10.7 Km/h en el macroclima; presentó una tendencia creciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca. La velocidad del viento promedio más baja se registró en agosto, con 0.93 Km/h y la más alta en enero con 6.6 Km/h. En el macroclima, la más baja fue en agosto con 7.93 Km/h y la más alta en noviembre con 13.93 Km/h. La mayor amplitud de la variable, en relación al macroclima fue en noviembre, con 9.15 Km/h de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 65.69% (Tabla 5 y Figura 34).

5.3.3.2. Viento promedio mensual del sitio 2.

La velocidad del viento en el microclima para el sitio 2 tuvo un promedio de 4.2 Km/h y 10.0 Km/h en el macroclima; presentó una tendencia similar al sitio 1, creciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca. La velocidad del viento más baja, en el microclima promedio, se registró en septiembre con 1.05 Km/h y la más alta en octubre con 6.1 Km/h. En el macroclima la más baja fue en agosto con 7.4 Km/h y la más alta en octubre con 11.57 Km/h. La amplitud más alta de la variable, en relación al macroclima fue en septiembre, con 8.17 Km/h de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 88.61% (Tabla 5 y Figura 35).

5.3.3.3. Viento promedio mensual del sitio 3.

La velocidad del viento en el microclima para el sitio 3 tuvo un promedio de 9.3 Km/h y 10.1 Km/h en el macroclima; presentó una tendencia similar al sitio 1 y 2, creciente a partir de la estación lluviosa hacia la estación seca. La velocidad promedio microclimática más baja del viento fue de 6.38 Km/h y la más alta de 12.16 Km/h para el mes de agosto y diciembre respectivamente. En el macroclima la velocidad más baja fue de 7.05 y la más alta de 12.35 Km/h en los meses de agosto y diciembre respectivamente. La amplitud más alta de la variable, en relación al macroclima fue en enero, con 1.93 Km/h de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máxima del 20.36% (Tabla 5 y Figura 36).

5.3.3.4. Comparación del viento promedio mensual entre sitios.

En los tres sitios se observó una tendencia similar ya que, la velocidad del viento se incrementa hacia los meses de diciembre y enero, meses en que la velocidad del viento es más alta en el país, a causa de los frentes fríos que descienden al territorio. La velocidad del viento promedio más alta fue para el sitio 3 y la más baja para el sitio 1, probablemente debido a que el sitio 3 es el más expuesto al viento. La mayor amplitud de la variable se presentó en el sitio 1 y la más baja en el sitio 3, dando lugar a un porcentaje de atenuación de la variable mayor en el sitio 1 y menor en el sitio 3.

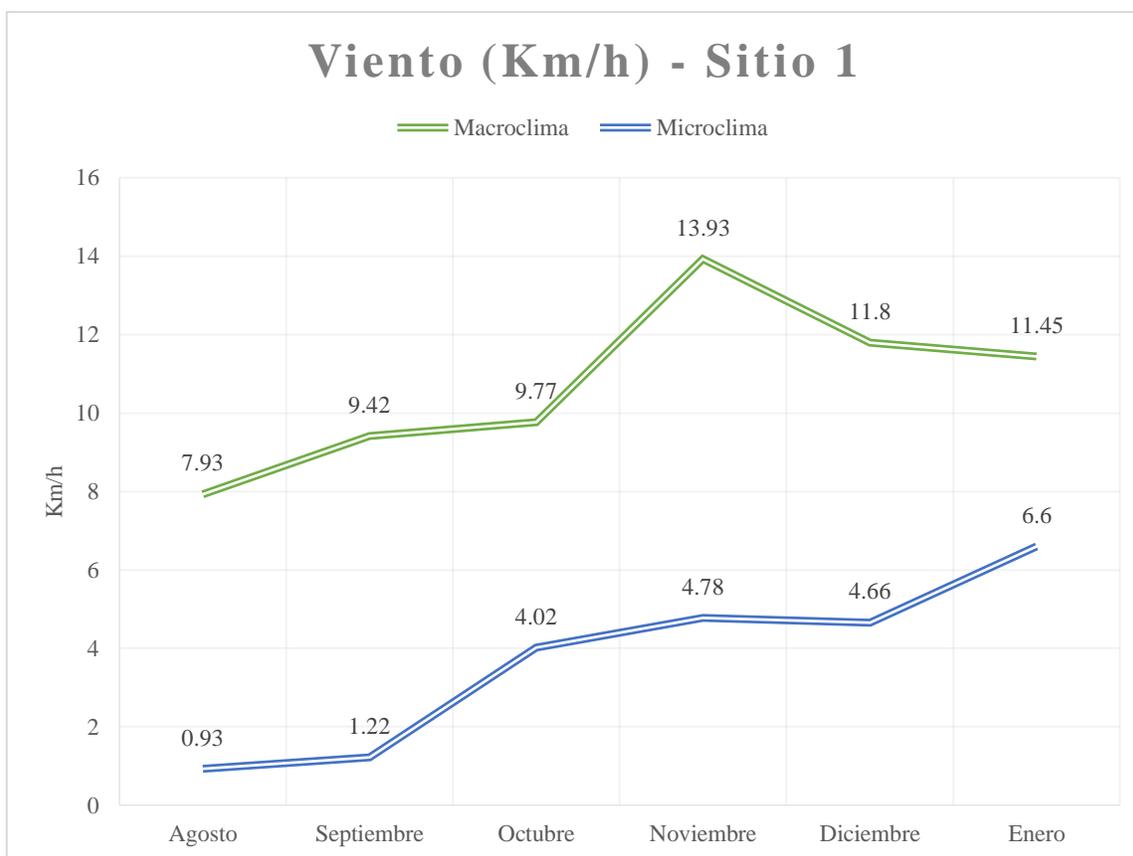


Figura 34. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la velocidad del viento, correspondientes al sitio 1.

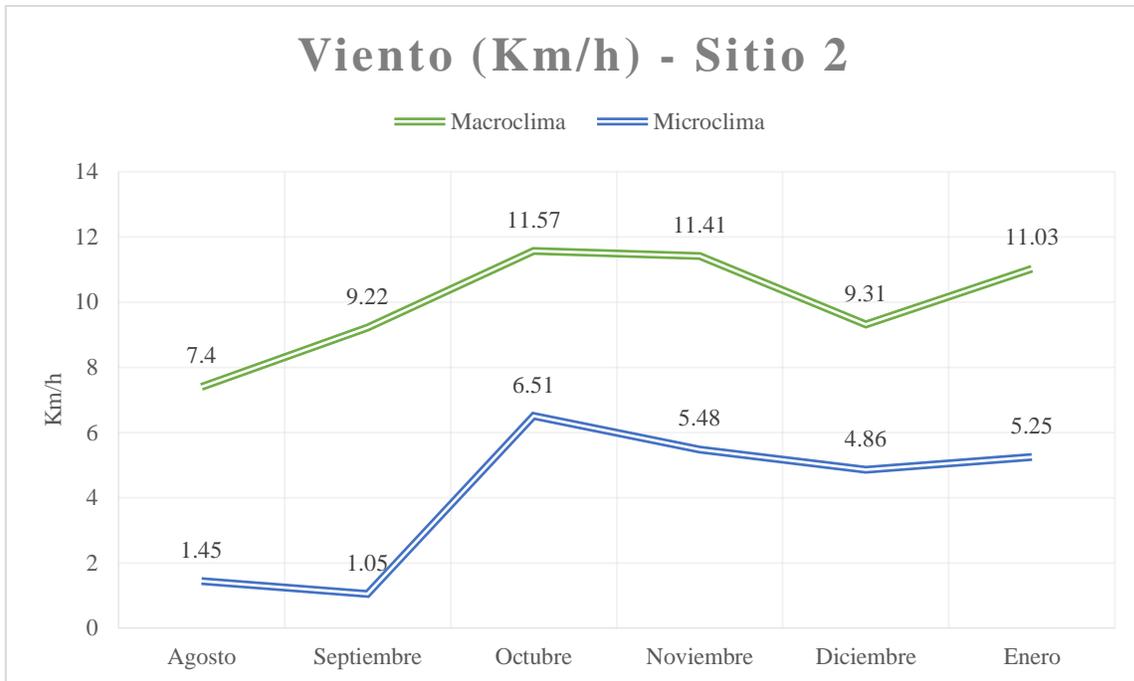


Figura 35. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la velocidad del viento, correspondientes al sitio 2.

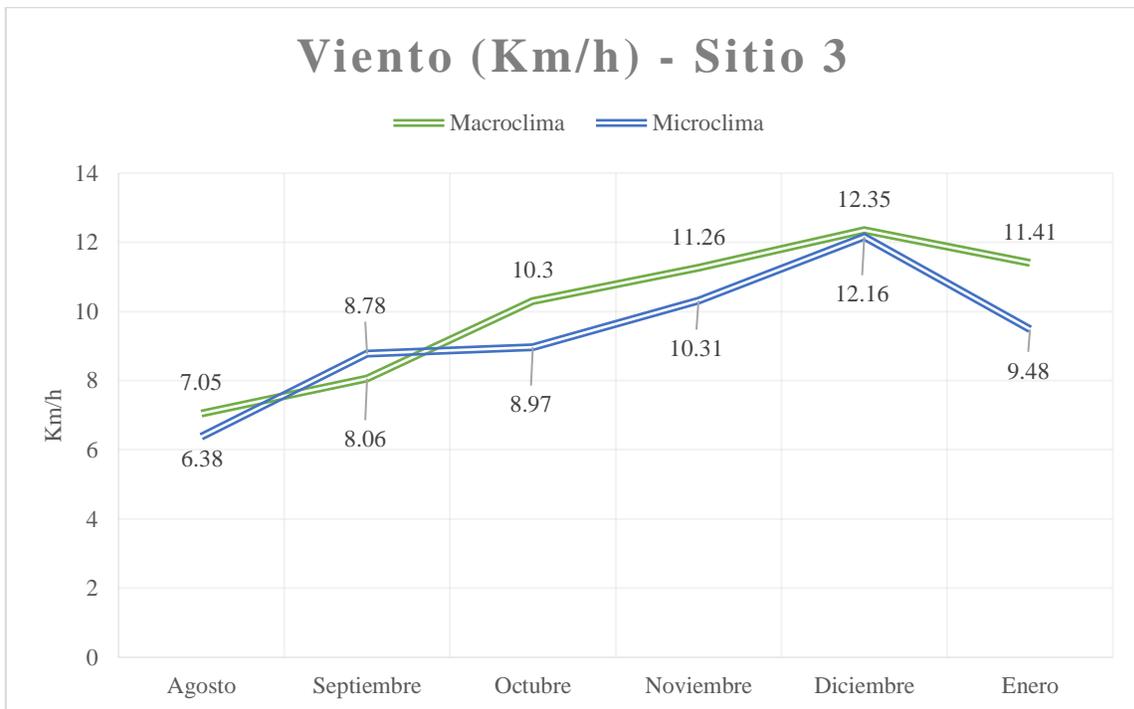


Figura 36. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la velocidad del viento, correspondientes al sitio 3.

5.3.4. Luminosidad promedio mensual por sitios

5.3.4.1. Luminosidad promedio mensual del sitio 1.

La luminosidad a nivel microclimático para el sitio 1 tuvo un promedio de 528.66 lux y 46952 lux en el macroclima. La luminosidad microclimática promedio más baja se registró en agosto con 167 lux y la más alta en enero con 1003 lux. En el macroclima la luminosidad promedio más baja fue en agosto con 17008 lux y la más alta en octubre con 70250 lux. La amplitud más alta de la luminosidad, en relación al macroclima fue en octubre, con 77547 lux de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 99.51% (Tabla 5 y Figura 37).

5.3.4.2. Luminosidad promedio mensual del sitio 2.

La luminosidad a nivel microclimático para el sitio 2 tuvo un promedio de 511.8 lux y 32085 en el macroclima. La luminosidad microclimática promedio más baja se registró en agosto con 216 lux y la más alta en septiembre con 924 lux. La luminosidad macroclimática más baja fue en diciembre con 3317 lux y la más alta en octubre con 70250 lux. La amplitud más alta de la luminosidad, en relación al macroclima fue en octubre, con 69849 lux de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 99.43% (Tabla 5 y Figura 38).

5.3.4.3. Luminosidad promedio mensual del sitio 3.

La luminosidad a nivel microclimático para el sitio 3 tuvo un promedio de 253.3 lux y 48825 lux en el macroclima. La luminosidad microclimática promedio más baja se registró en enero con 192 lux y la más alta en septiembre con 439 lux. En el macroclima la el promedio más bajo fue en agosto con 31168 y el más alto en octubre con 65924 lux. La amplitud más alta de la luminosidad, en relación al macroclima fue en octubre, con 65630 lux de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 99.55% (Tabla 5 y Figura 39).

5.3.4.4. Comparación de la luminosidad promedio mensual entre sitios.

La luminosidad promedio más alta fue para el sitio 1 y la más baja para el sitio 3, probablemente debido a que en el sitio 3 el bosque es más denso.

La mayor amplitud de la variable se presentó en el sitio 1 y la más baja en el sitio 3, dando lugar a un porcentaje de atenuación de la variable mayor en el sitio 1 y menor en el sitio 3.

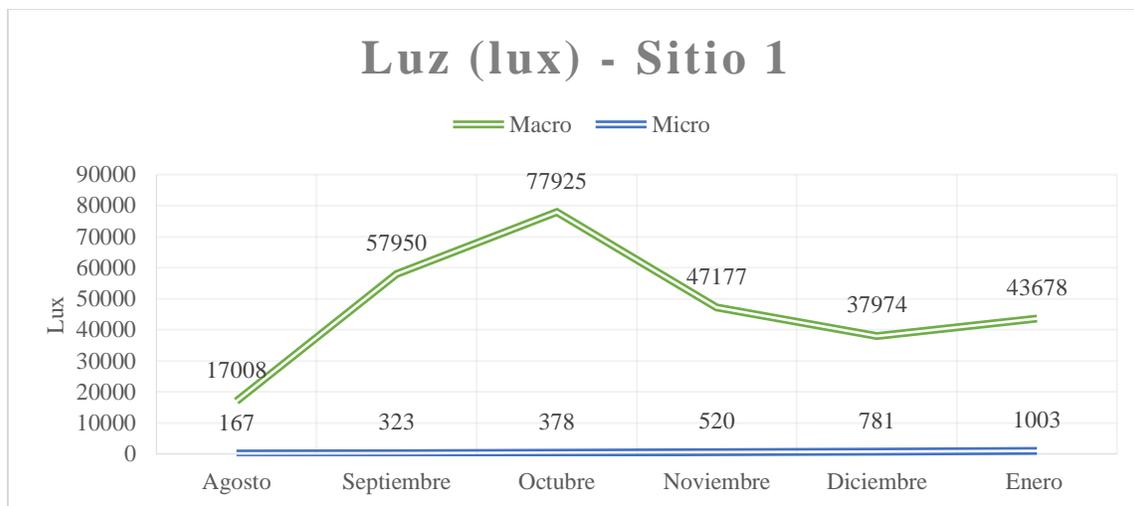


Figura 37. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la luminosidad, correspondientes al sitio 1.

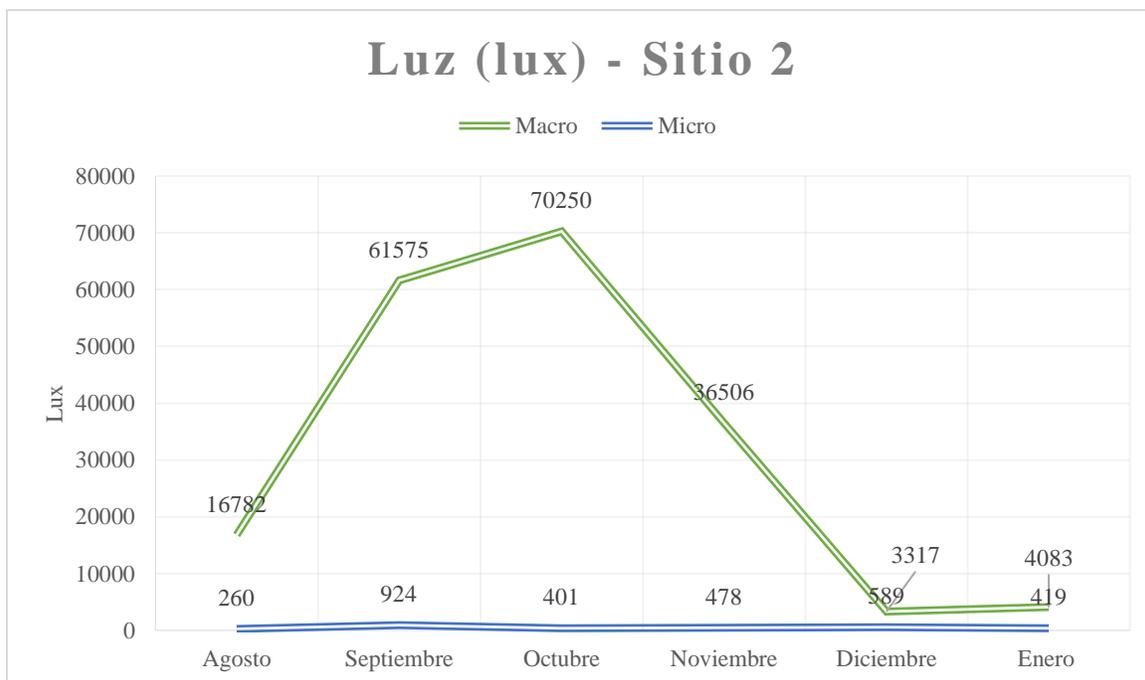


Figura 38. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la luminosidad, correspondientes al sitio 2.

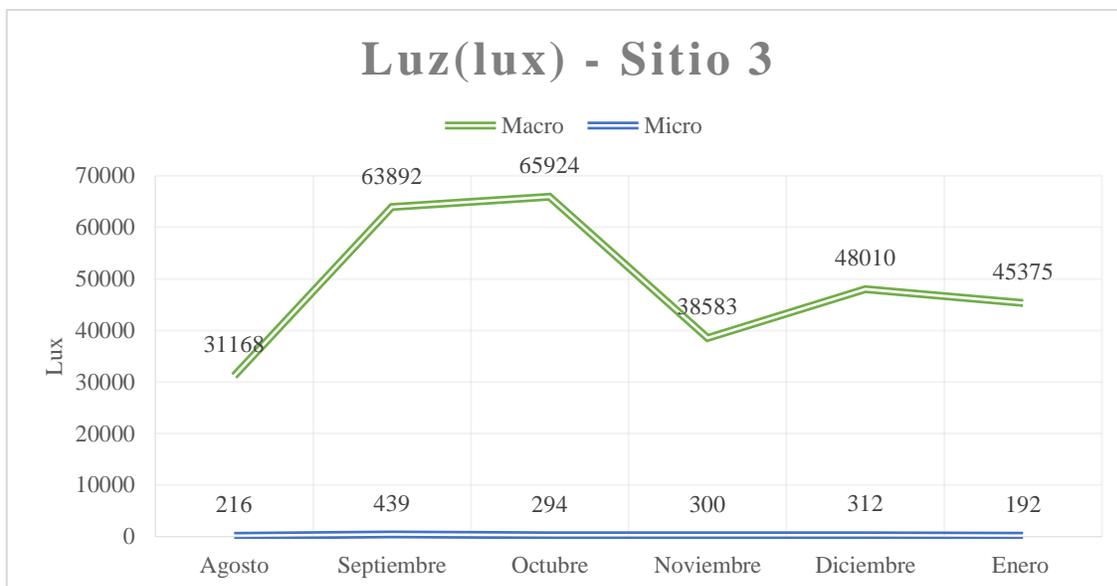


Figura 39. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la luminosidad, correspondientes al sitio 3.

5.3.5. Radiación solar promedio mensual por sitios

5.3.5.1. Radiación solar promedio mensual del sitio 1.

La radiación solar a nivel microclimático para el sitio 1 tuvo un promedio de 0.0031 cal/cm²*min. y 0.32 cal/cm²*min. La radiación solar microclimática promedio más baja que se registró fue de 0.002 cal/cm²*min, en varios meses y la más alta en enero, con 0.006 cal/cm²*min. En el macroclima el valor más bajo fue en agosto con 0.22 cal/cm²*min y el más alto en octubre con 0.5 cal/cm²*min. La amplitud más alta de la radiación solar, en relación al macroclima fue en octubre, con 0.4995 cal/cm²*min de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 99.6% (Tabla 5 y Figura 40).

5.3.5.2. Radiación solar promedio mensual del sitio 2.

La radiación solar a nivel microclimático para el sitio 2 tuvo un promedio de 0.0031 cal/cm²*min y 0.29 cal/cm²*min en el macroclima. La radiación solar microclimática promedio más baja se registró en octubre y enero con 0.002 cal/cm²*min y la más alta en septiembre con 0.006 cal/cm²*min. En el macroclima el valor más bajo fue en agosto con 0.218 cal/cm²*min y el más alto en octubre con 0.45 cal/cm²*min.

La amplitud más alta de la radiación solar, en relación al macroclima fue en octubre, con 0.448 cal/cm²*min de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 99.55% (Tabla 5 y Figura 41).

5.3.5.3. Radiación solar promedio mensual del sitio 3.

La radiación solar a nivel microclimático para el sitio 3 tuvo un promedio de 0.0018 cal/cm²*min y 0.385 cal/cm²*min. La radiación solar microclimática promedio más baja se registró en enero con 0.001 cal/cm²*min y la más alta con 0.002 cal/cm²*min de agosto a diciembre. En el macroclima el promedio más bajo fue en enero con 0.29 cal/cm²*min y el más alto en octubre con 0.53 cal/cm²*min. La amplitud más alta de la radiación solar, en relación al macroclima fue en octubre, 0.528 con cal/cm²*min de diferencia, equivalente a un porcentaje de atenuación máximo del 99.62% (Tabla 5 y Figura 42).

5.3.5.4. Comparación de la radiación solar promedio mensual entre sitios.

La radiación solar promedio más alta fue para el sitio 1 y 2 y la más baja para el sitio 3. La mayor amplitud de la variable se presentó en el sitio 3 y la más baja en el sitio 2, dando lugar a un porcentaje de atenuación de la variable mayor en el sitio 3 y menor en el sitio 2.

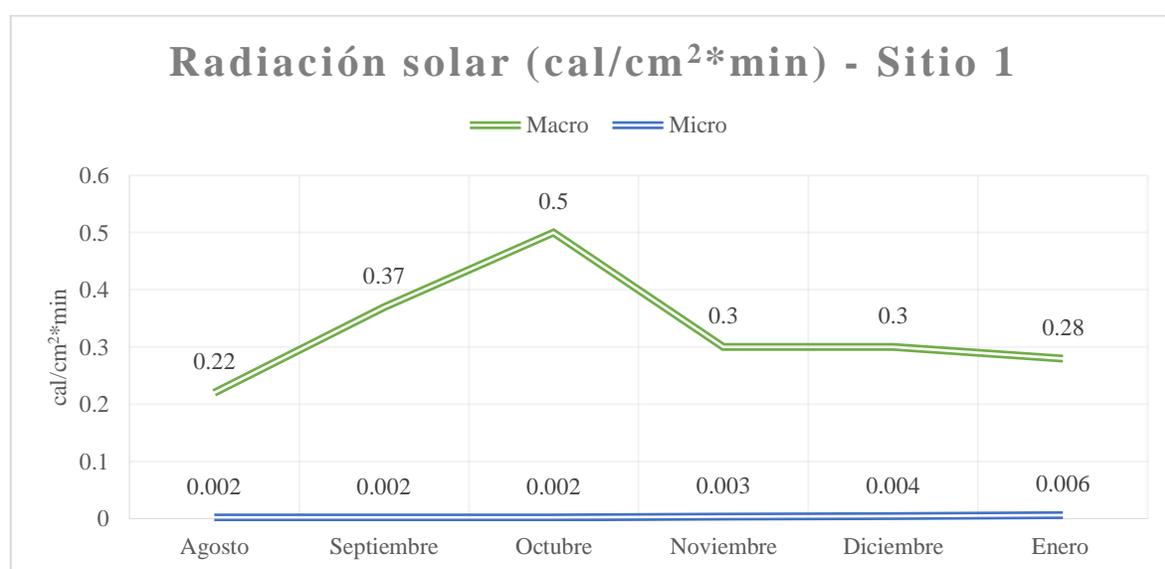


Figura 40. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la radiación solar, correspondientes al sitio 1.

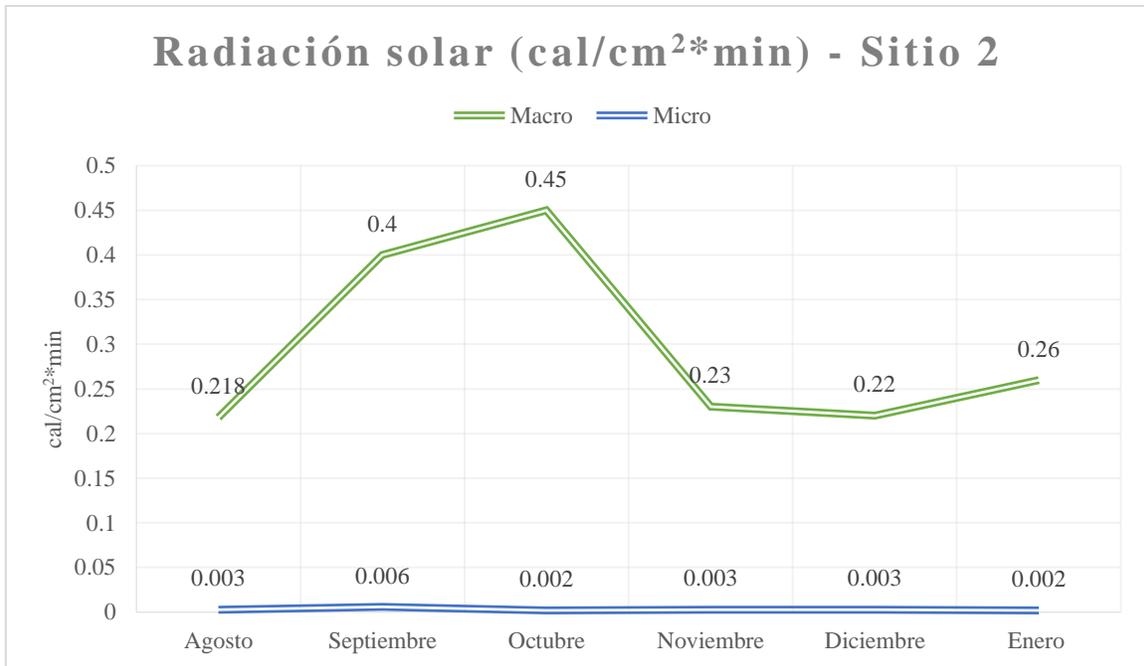


Figura 41. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la radiación solar, correspondientes al sitio 2.

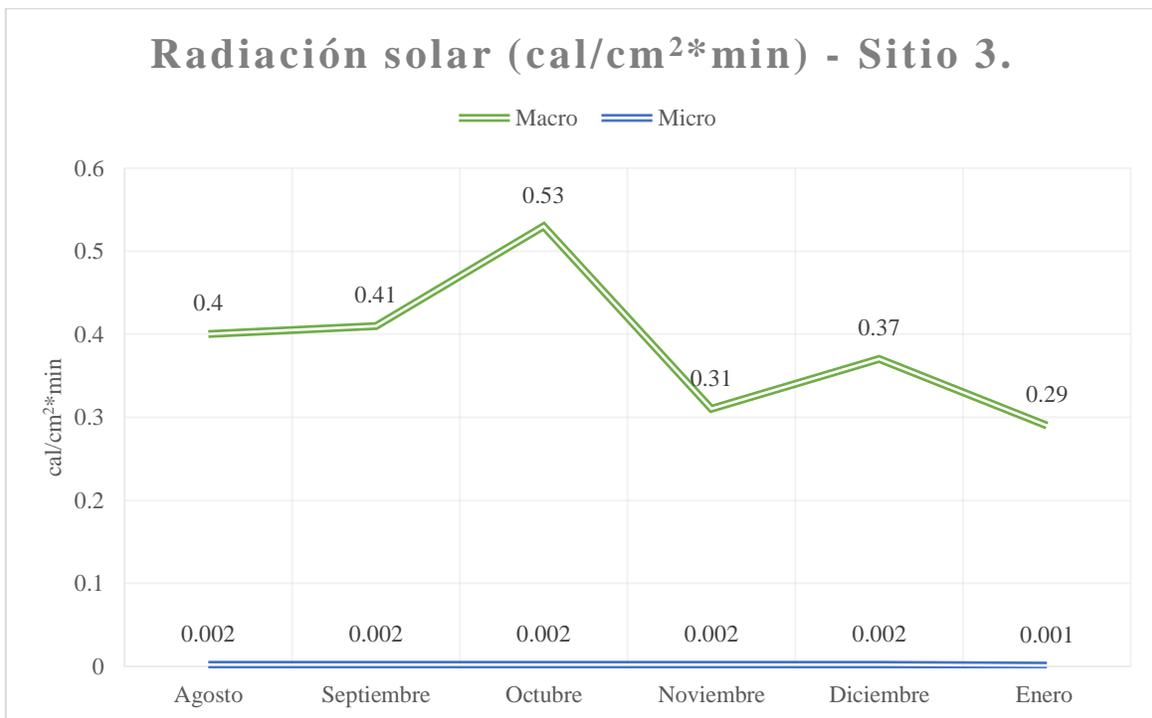


Figura 42. Valores promedio macroclimáticos y microclimáticos mensuales de la radiación solar, correspondientes al sitio 3.

5.4. Composición y diversidad de Pteridophyta

5.4.1. Composición taxonómica de Pteridophyta

Se reportaron 13 especies de Pteridophyta, pertenecientes al orden Polypodiales, ubicadas en 5 familias y 9 géneros, sumando un total de 603 individuos. Las familias más representadas fueron Polypodiaceae con 5 especies, seguida de la Dryopteridaceae con 4 especies y Pteridaceae con 2 especies; el resto de familias con una sola especie (Tabla 6).

Tabla 6. Composición taxonómica y abundancia de Pteridophyta, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

No	Orden	Familia	Nombre Científico	Abund.	Sitios	Anexo
1	Polypodiales	Aspleniaceae	<i>Asplenium cuspidatum</i> Lam.	135	1, 2 y 3	1
2	Polypodiales	Blechnaceae	<i>Blechnum appendiculatum</i> Willd.	4	1	2
3	Polypodiales	Dryopteridaceae	<i>Ctenitis equestris</i> (Kunze) Ching var. <i>equestris</i> .	10	2	3
4	Polypodiales	Dryopteridaceae	<i>Dryopteris patulata</i> (Sw.) Underw.	2	3	4
5	Polypodiales	Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum cf. guatemalense</i> (Klotzsch) T Moore	4	3	5
6	Polypodiales	Dryopteridaceae	<i>Polystichum hartwegii</i> (Klotzsch) Hieron.	8	1 y 3	6
7	Polypodiales	Polypodiaceae	<i>Pleopeltis angusta</i> Humb & Bonpl. Ex Willd.	174	1, 2 y 3	7
8	Polypodiales	Polypodiaceae	<i>Polypodium alansmithii</i> R.C. Moran.	117	1, 2 y 3	8
9	Polypodiales	Polypodiaceae	<i>Polypodium colpodes</i> Kunze var. <i>colpodes</i>	2	2	9
10	Polypodiales	Polypodiaceae	<i>Polypodium hartwegianum</i> Hook.	14	1 y 2	10
11	Polypodiales	Polypodiaceae	<i>Polypodium pleurosorum</i> Kunze ex Mett.	92	1, 2 y 3	11
12	Polypodiales	Pteridaceae	<i>Adiantum cf. concinnum</i> Humb & Bonpl. Ex Willd.	4	1	-
13	Polypodiales	Pteridaceae	<i>Vittaria graminifolia</i> Kaulf	37	1, 2 y 3	12
Total				603	3	12

5.4.2. Hábito de las Pteridophytas registradas

El hábito de las especies muestreadas tuvo una proporción altamente diferenciada, la mayoría de los individuos, 579 fueron epífitos, que corresponden al 96.01%, los cuales se presentaron sobre la base de troncos de árboles y ramas bajas, mientras que los 24 restantes de los 603 fueron terrestres (Tabla 7 y Figura 43). Las especies que se encontraron con hábito exclusivamente terrestre fueron *Blechnum appendiculatum*, *Polystichum hartwegii* y *Ctenitis equestris*, con ámbito mixto *Adiantum cf. concinnum* y el resto de hábito epífita.

Tabla 7. Hábito de los individuos de Pteridophyta registrados en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

Hábito	Individuos	Porcentaje (%)
Epífitos	579	96.01
Terrestres	24	3.99
Total	603	100



Figura 43. Hábito de los individuos de Pteridophyta registrados en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

5.4.3. Abundancia y riqueza de Pteridophyta por sitios

La abundancia fue mayor en el sitio 3, donde se registraron 274 individuos que representan un 45.44% de la abundancia total, mientras que los valores más bajos se presentaron en el sitio 2 con 130 individuos equivalentes al 21.56%. En cuanto a la riqueza, los sitios 1 y 3 presentaron los mayores valores, con 9 especies cada uno, y el más bajo corresponde al sitio 2, con 8 especies (Tabla 8 y Figuras 44 y 45).

Tabla 8. Abundancia y riqueza de Pteridophyta por sitios en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde (Holdridge 1987).

Sitios	Riqueza	Abundancia	Porcentaje de abundancia (%)
1	9	199	33.0
2	8	130	21.56
3	9	274	45.44
Total	13	603	100

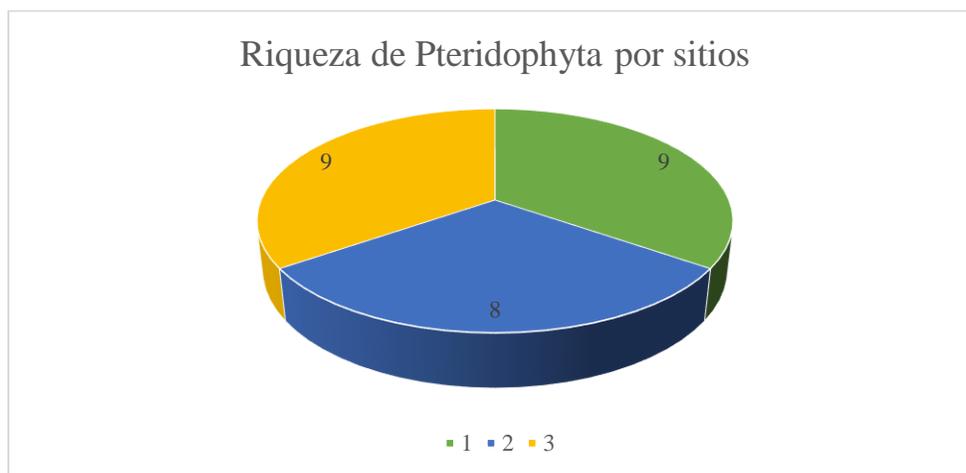


Figura 44. Riqueza de especies de Pteridophyta por sitios.

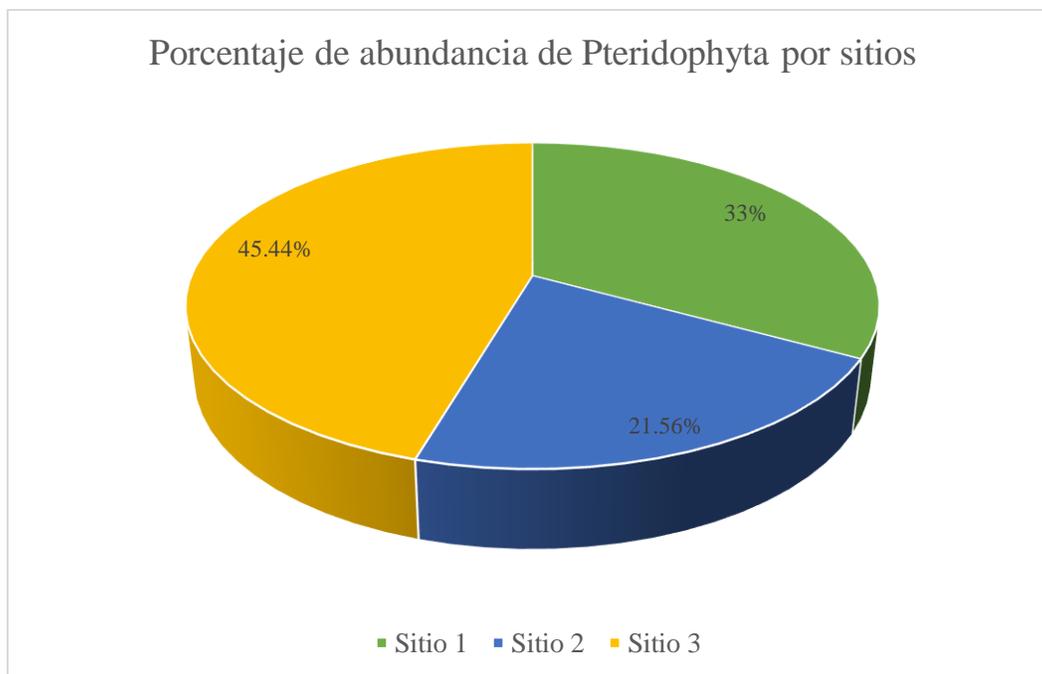


Figura 45. Porcentaje de abundancia de especies de Pteridophyta por sitios.

5.4.4. Diversidad de Pteridophyta

La vegetación Pteridophyta de toda la comunidad estudiada arroja una diversidad para el índice de Shannon de 1.82, el de Pielou arroja un valor de 0.71, la diversidad de Simpson arroja un valor de 0.80, el cual, al igual que Pielou, se encuentra en un rango de 0 a 1.

Finalmente, el índice de Simpson de dominancia arroja un valor de 0.20, presentando una baja dominancia de especies para la comunidad de helechos, al ser este valor inverso a Pielou y al de Simpson de diversidad (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de diversidad de la vegetación Pteridophyta en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

Shannon W.	Equitatividad Pielou	Simpson (Diversidad)	Simpson (Dominancia)
1.82	0.71	0.80	0.20

En la tabla 14 se observa una comparación entre los valores de los índices obtenidos, en los sitios de muestro. Según el índice de Shannon, la diversidad más alta se obtuvo en el sitio 2, con un valor de 1.77, también fue el más equitativo según Pielou con un valor de 0.85. De igual manera, la diversidad de Simpson arrojó el valor más alto en el sitio 2, con 0.78 y fue el sitio con la dominancia de especies más baja.

Los valores más bajos se obtuvieron para el sitio 1, con un Shannon de 1.61 que lo ubica como el sitio menos diverso, un índice de equitatividad de Pielou de 0.73, siendo este el menos equitativo.

Simpson de dominancia y Simpson de diversidad arrojaron valores para el sitio 1 de, 0.26 y 0.74 respectivamente, siendo el valor de diversidad más bajo de los tres sitios, pero el que presenta mayor dominancia de especies (Tabla 10).

Tabla 10. Valores de diversidad de la vegetación Pteridophyta por sitios, en el sotobosque del bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

Sitios	Shannon W.	Equitat. Pielou	Simpson (Diversidad)	Simpson (Dominancia)
1	1.61	0.73	0.74	0.26
2	1.77	0.85	0.78	0.21
3	1.65	0.75	0.77	0.22

5.5. Composición y diversidad de la vegetación arbórea del dosel

5.5.1. Composición taxonómica de la vegetación arbórea del dosel

Se reportaron 12 especies arbóreas, distribuidas en 9 órdenes y 9 familias dentro de un total de 118 individuos; de las familias Araliaceae, Lauraceae y Asteraceae, se reportan dos especies cada una, mientras que el resto de familias presentó una especie (Tabla 11).

Tabla 11. Composición taxonómica de la vegetación arbórea del dosel, en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

No.	Orden	Familia	Nombre Científico	Individuos
1	Apiales	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreum</i> (L.) Decne. & Planch.	3
2	Apiales	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne & Planch	18
3	Asterales	Asteraceae	<i>Montanoa guatemalensis</i> B.L. Rob. & Greenm.	7
4	Asterales	Asteraceae	<i>Perymenium grande</i> Hemsl.	3
5	Fabales	Fabaceae	<i>Inga hintonii</i> Sandwith	5
6	Fagales	Fagaceae	<i>Quercus skinneri</i> Benth.	25
7	Laurales	Lauraceae	<i>Nectandra cf. cuspidata</i> Nees & Mart.	13
8	Laurales	Lauraceae	<i>Ocotea sp.</i>	3
9	Primulales	Myrsinaceae	<i>Ardisia compresa</i> Kunth	18
10	Myrtales	Myrtaceae	<i>Eugenia salamensis</i> Donn. Sm.	1
11	Proteales	Proteaceae	<i>Roupola glaberrima</i> Pitier.	6
12	Gentianales	Rubiaceae	<i>Arachnothryx laniflora</i> (Benth.) Planch	16
Totales	9	9	12	118

5.5.2. Índice de valor de importancia en la vegetación arbórea del dosel

Las especies que presentaron mayor valor de IVI fueron *Quercus skinneri*, *Montanoa guatemalensis*, *Nectandra cf. cuspidata*, *Ardisia compresa* y *Oreopanax xalapensis*. *Quercus skinneri* superó al resto de especies en gran medida, obteniendo un IVI de 58.43, debido a que tuvo una densidad de 25 individuos y un área basal superior.

Las otras 4 especies mencionadas anteriormente con un elevado índice de valor de importancia, superan el puntaje de 30, mientras que las especies restantes no superan este umbral (Tabla 12 y Figura 46).

Tabla 12. Tabla con las abundancias, frecuencias y áreas basales de los individuos de las especies muestreadas en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

Especies	DA	FA	ABA	DR	FR	ABR	IVI
<i>Arachnothryx laniflora</i>	16	1	0.492877	13.559	4.7619	5.658708	23.98
<i>Ardisia compresa</i>	18	2	0.800547	15.254	9.5238	9.191050	33.97
<i>Dendropanax arboreus</i>	3	1	0.103553	2.5423	4.7619	1.188898	8.49
<i>Eugenia salamensis</i>	1	1	0.003183	0.8474	4.7619	0.036544	5.65
<i>Inga hintonii</i>	5	1	0.307892	4.2372	4.7619	3.534899	12.53
<i>Montanoa guatemalensis</i>	7	1	2.481004	5.932	4.7619	28.48430	39.18
<i>Nectandra cuspidata</i>	13	3	1.134326	11.016	14.285	13.02315	38.33
<i>Ocotea sp.</i>	3	2	0.404284	2.5423	9.5238	4.641571	16.71
<i>Oreopanax xalapensis</i>	18	3	0.22111	15.254	14.285	2.538593	32.08
<i>Perymenium grande</i>	3	1	0.306117	2.542	4.7619	3.514526	10.82
<i>Quercus skinneri</i>	25	2	2.415051	21.186	9.5238	27.72709	58.44
<i>Rouppola glaberrima</i>	6	3	0.040122	5.0847	14.285	0.460648	19.83
	118	21	8.7100760	100	100	100	300

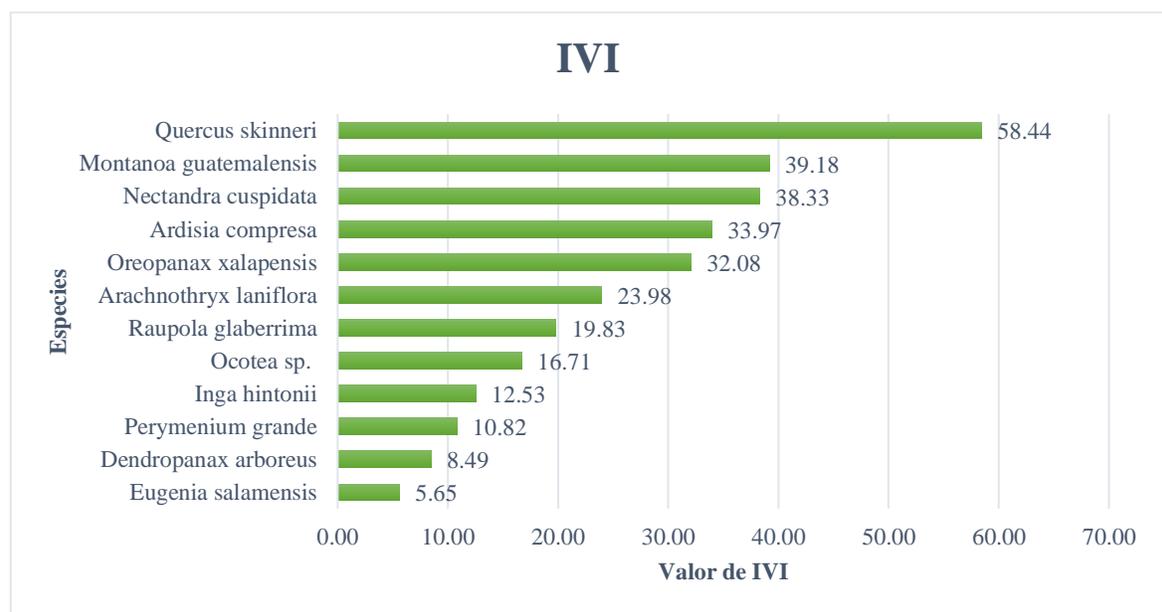


Figura 46. Valores de IVI de las especies arbóreas del dosel en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

5.5.3. Índices de diversidad de la vegetación arbórea del dosel

La diversidad de la vegetación arbórea del dosel para el índice de Shannon presentó un valor de 2.18, Pielou un valor de 0.88, Simpson de diversidad presentó un valor de 0.86, el cual, al igual que Pielou se encuentra en un rango de 0 a 1. Finalmente, el índice de Simpson de dominancia muestra un valor de 0.13, presentando una baja dominancia de especies para la comunidad arbórea del dosel (Tabla 13).

Tabla 13. Valores de diversidad de la vegetación arbórea del dosel en el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde.

Shannon W.	Equitatividad Pielou	Simpson (Diversidad)	Simpson (Dominancia)
2.18	0.8812	0.868141339	0.13

5.6. Relación entre variables microclimáticas y la abundancia de Pteridophyta

El análisis de correspondencia canónica revela que las variables humedad relativa y temperatura están inversamente relacionadas al viento, mientras que la luz y radiación solar presentan un comportamiento independiente respecto a las otras variables microclimáticas.

Las especies 4 y 9 (*Ctenitis equestris* y *Polypodium colpodes*, respectivamente) se encuentran mayoritariamente relacionadas con la luz y radiación solar, condiciones presentes en las parcelas A, B y C del sitio 2, al contrario, las especies 1 y 3 (*Adiantum cf. concinnum* y *Blechnum appendiculatum*, respectivamente), fueron más abundantes bajo condiciones de poca luminosidad y radiación solar, además la especie 1 (*Adiantum cf. concinnum*) se encuentra relacionada a la humedad relativa y temperatura moderada y la especie 3 (*Blechnum appendiculatum*) está más relacionada con una mayor temperatura y humedad relativa, condiciones mayormente asociadas para las parcelas A y B del sitio 1.

Se observa que las especies 2, 7, 8, 10, 11 y 13 (*Asplenium cuspidatum*, *Pleopeltis angusta*, *Polypodium alansmithii*, *Polypodium harwegianum*, *Polypodium pleurosum* y *Vittaria graminifolia*, respectivamente), están relacionadas con condiciones menos marcadas

respecto al resto, pudiendo considerar dichas especies como generalistas o resistentes al medio, puesto que toleran las diversas condiciones, las cuales fueron generales en los puntos C y D del sitio 1 y D del sitio 2.

Las especies 5, 6 y 12 (*Dryopteris patulata*, *Elaphoglossum cf. guatemalense* y *Polystichum hartwegii*, respectivamente) están mayormente relacionadas con la variable viento, mostrando resistencia a las condiciones ventosas y la disminución de las variables humedad relativa y temperatura, condiciones acentuadas en las parcelas B, C y D del sitio 3 (Tabla 14 y Figura 47).

Tabla 14. Números correlativos de las especies para el análisis de correspondencia canónica.

N o.	Nombre Científico
1	<i>Adiantum cf. concinnum</i>
2	<i>Asplenium cuspidatum</i>
3	<i>Blechnum appendiculatum</i>
4	<i>Ctenitis equestris</i>
5	<i>Dryopteris patulata</i>
6	<i>Elaphoglossum cf. guatemalense</i>
7	<i>Pleopeltis angusta</i>
8	<i>Polypodium alansmithii</i>
9	<i>Polypodium colpodes</i>
10	<i>Polypodium hartwegianum</i>
11	<i>Polypodium pleurosum</i>
12	<i>Polystichum hartwegii</i>
13	<i>Vittaria graminifolia</i>

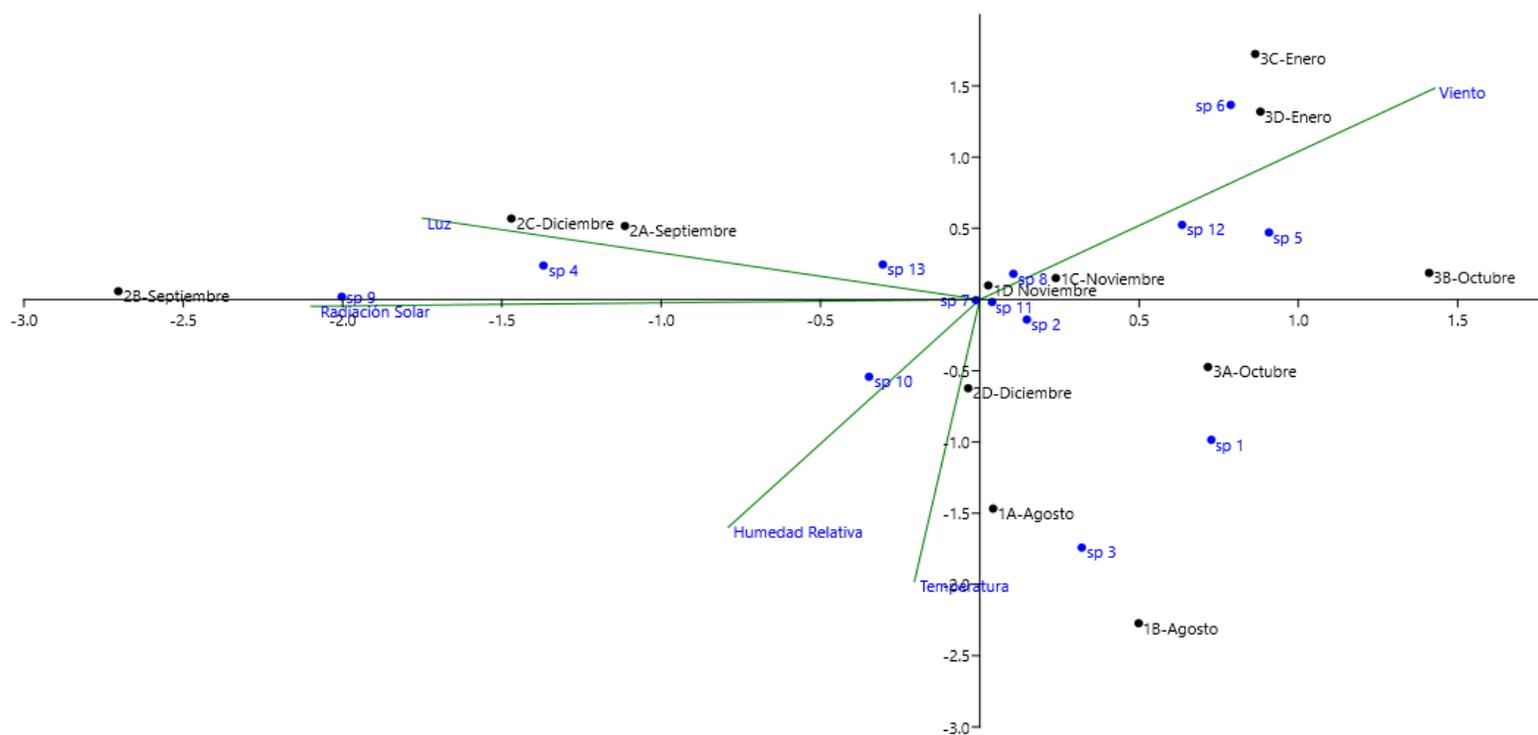


Figura 47. Relación entre las variables microclimáticas y la abundancia de Pteridophyta en el Parque Nacional Cerro Verde.

6. DISCUSIÓN

6.1. Comportamiento macroclimático y microclimático.

6.1.1. Comportamiento de la temperatura macroclimática pasada y actual.

Los últimos registros macroclimáticos sistematizados para el Parque Nacional Cerro Verde corresponden a datos tomados durante un periodo de 7 años, entre los años 1981 y 1987 (MAG 1987). Por lo tanto, a la fecha, 30 años después se pueden apreciar cambios significativos con relación al macroclima imperante en el periodo 2016-2017. Sin embargo, la estación que solía funcionar en el Cerro Verde dejó de estar activa después del último registro en 1987 y al no ser una estación meteorológica de tipo “A”, solo medía temperatura y precipitación, lo que limita una comparación entre los datos, pudiéndose contrastar solo los valores de temperatura (Figura 48).

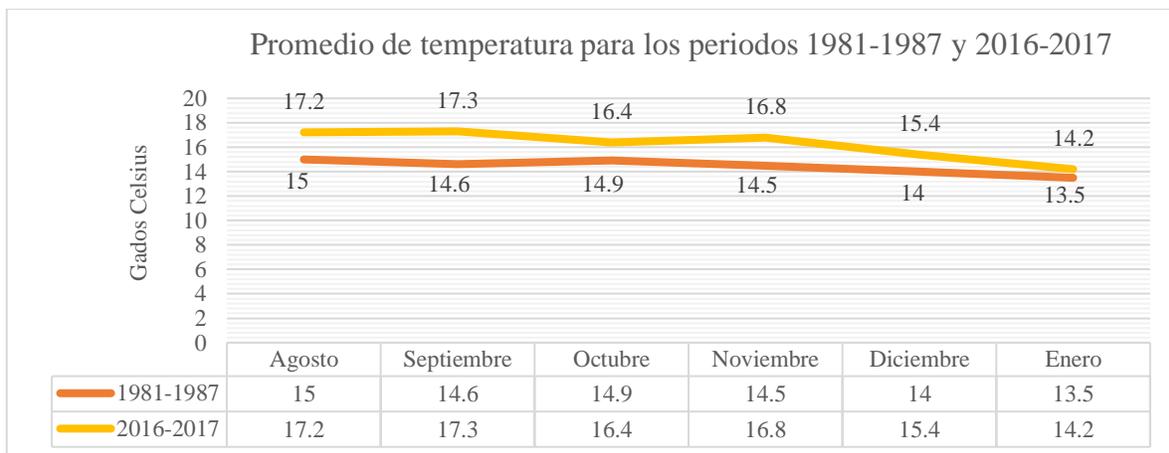


Figura 48. Valores de temperatura correspondientes a los periodos 1981-1987 y 2016-2017 del Parque Nacional Cerro Verde.

Se evidencia que la temperatura en la actualidad es superior, con un aumento que va desde 0.7 °C en enero, hasta 2.7 °C en septiembre, diferencia que parece ser más conspicua en los meses de la época lluviosa. Se determinó la varianza entre datos y fue 1.44 para el periodo 2016-2017 contra los 0.32 del periodo 1981-1987. Además, se puede constatar que el método de medición empleado en esta investigación, arroja un comportamiento similar de la temperatura en relación a la estación meteorológica instalada en aquella época en el Cerro Verde.

6.1.2. Comportamiento microclimático diario en época seca y lluviosa.

La temperatura diaria presentó menor oscilación en la época lluviosa, a diferencia de la época seca en donde la variación de temperatura fue mayor. Para ambas épocas la temperatura más baja se registró antes del amanecer, entre las 5:00 y 6:00 am, mientras que la temperatura más alta se registró entre las 2:00 y 3:00 pm, cuando el sol acaba de pasar su cenit. Esta oscilación probablemente se debe a que los cielos despejados de la época seca, permiten que la temperatura se incremente en la tierra, al mismo tiempo, permite que durante la noche ésta se escape libremente, al no haber nubosidad.

Similar comportamiento registró Maldonado 1988 y Salazar 2010; Salazar en bosque de pino-roble donde registró valores máximos de temperatura que se extienden desde la 1:00 pm hasta las 4:00 pm con similares condiciones en la época seca, mientras que Maldonado, registró los máximos de 10:00 am a 3:00 pm para el Manglar. Salazar 1984, difiere de los estudios recientes ya que él determinó que en el cafetal la temperatura es mayor en el día comparada con la estación base. Las temperaturas más bajas para los tres bosques se registran en el mismo horario, mientras que la atenuación de la variable fue menor para el bosque pino-roble, probablemente debido a las alteraciones en este tipo de vegetación.

La humedad relativa tuvo un comportamiento similar en ambas estaciones, sin embargo, alcanza valores mayores en la época lluviosa. Los valores mínimos se registran durante las horas del mediodía, alrededor de la 1:00 pm, los valores máximos se alcanzan al amanecer, cuando la saturación de la humedad atmosférica alcanza el punto de rocío, a las 6:00 am, aproximadamente. Loetschert 1954; Salazar 1984 y Maldonado 1988 registraron el mismo comportamiento de humedad relativa para el Cerro Verde, cafetal y manglar respectivamente, lo cual concuerda con el comportamiento para esta variable, sin embargo, Salazar 2010 presenta valores de humedad relativa más bajos que los registrados en el Cerro Verde, mientras que Maldonado 1988, debido al ecosistema que estudió, presentó valores más altos, probablemente a causa de la brisa marina.

En relación al viento, este no tuvo un comportamiento definido, sin embargo, los valores máximos se registraron en la época seca, producto de los frentes fríos que alcanzan a nuestro país y aceleran los vientos en el territorio. Este comportamiento es similar a los descritos por Maldonado 1988 y Salazar 2010 para los ecosistemas de manglar y pino-roble

respectivamente, ya que la velocidad del viento es cambiante a lo largo del día; cabe destacar que se presentan vientos “nortes”, “brisa marina” y “valle-montaña”, siendo los más fuertes los “nortes” para todos los casos, a excepción de la época lluviosa donde predomina la brisa marina, mientras que la brisa de valle montaña es bastante débil, en relación a las anteriores.

Además, cabe mencionar que en el ecosistema pino-roble, al ser una comunidad menos densa, el viento fluye sin mayor obstáculo alcanzando velocidades superiores, Salazar 2010 registró hasta 75 Km/h, mientras que los valores registrados en este estudio no superan los 26 Km/h, incluso en época seca, por tanto, la atenuación de la variable es mayor.

Las variables luz y radiación solar, son variables que no han sido evaluadas en anteriores trabajos, Salazar 2010, tomó en cuenta la radiación ultravioleta en bosque pino-roble, en dónde al igual que en el presente trabajo se registran los valores máximos en las horas del mediodía, valores que se acentúan durante los días despejados. Durante el día los valores llegan a ser atenuados en más de un 95%, evidenciando el crucial papel que la vegetación representa en el bosque.

6.1.3. Comportamiento macroclimático y microclimático mensual.

Durante los seis meses de estudio la temperatura promedio fluctuó entre los 16.8 °C de máxima y 13.4 °C de mínima. Los meses más cálidos fueron agosto y septiembre, y los más fríos diciembre y enero. La temperatura fue atenuada en promedio hasta un 9% por la cobertura vegetal; condiciones similares registraron Maldonado 1988 y Salazar 2010; la estación lluviosa atenúa el calor al atardecer con las lluvias locales y orográficas que se generan, mientras que, a principios de la estación seca, las masas de aire frío que descienden del polo norte, disminuyen la temperatura de forma sensible en todo el país. En el manglar Maldonado 1988 establece que la brisa marina ejerce gran influencia en la disminución del calor, a diferencia del bosque pino-roble, en dónde la brisa marina es mucho menor y el calor permanece por más tiempo en el día, pero es rápidamente liberado en la noche, situación similar ocurre en el Cerro Verde, pero dada su altitud, las temperaturas son suaves la mayor parte del año lo cual concuerda con Salazar 2010. También se evidenció que para los tres casos la vegetación modificó la temperatura microclimática, volviendo los días más frescos

dentro del bosque y menos fríos durante la noche, condiciones similares se presentan en los anteriores estudios mencionados.

La humedad relativa promedio fue mayor durante los meses de la época lluviosa y menor en los meses de la época seca, alcanzando valores máximos de más de 82% en septiembre y valores mínimos de 70% en enero. Posiblemente los valores de humedad oscilan por la cobertura boscosa, ya que durante el día la humedad relativa era mayor dentro del bosque que fuera de él, mientras que en la noche eran menores, siendo la humedad relativa para esta comunidad, inversamente proporcional a la temperatura. La humedad fue atenuada hasta un 7% en promedio, por la cobertura vegetal, lo cual concuerda con Salazar 1984, Maldonado 1988 y Salazar 2010, que reportan similar situación para el cafetal, manglar y el bosque pino-roble respectivamente, pero con valores inferiores de humedad relativa en el bosque pino-roble y una humedad alta constante en el bosque manglar.

La variable viento registró mayores velocidades para los meses de diciembre y enero, mientras que la velocidad fue inferior en los meses de agosto y septiembre, esto es producto de los sistemas de alta presión que dominan la atmósfera durante el invierno boreal, produciendo frentes fríos y anticiclones en la región centroamericana, lo que para El Salvador; ubicado en posición sotavento de Centroamérica, se traduce en días estables, despejados y con influencias de viento de componente norte, acelerando la velocidad del viento y produciendo un desecamiento mayor. Esta situación aplica para casi todos los ecosistemas del país, dado que similares condiciones registran Maldonado 1988 y Salazar 2010, con la diferencia del caso del manglar que recibe gran influencia de la brisa marina durante las tardes. El viento presentó mayores velocidades para el bosque de pino-roble, el cual posee una vegetación menos densa lo que permite que el viento fluya con mayor facilidad, a pesar de que el Cerro Verde registra fuertes vientos, estos son atenuados en promedio hasta en un 88% por la cobertura vegetal.

La luz y la radiación solar fueron de mayor intensidad en los meses de septiembre y octubre, situación que se debe probablemente a que en estos meses el sol se encuentra en el cenit, justo por encima de El Salvador, cuando se registran los días más largos y las noches más cortas. Es difícil hacer comparaciones con anteriores estudios microclimáticos en el país

dado que no se han estudiado estas variables, a excepción de Salazar 2010, el cual estudio la radiación ultravioleta durante dos meses, pero de manera horaria y no mensual.

6.1.4. Composición y diversidad de Pteridophyta.

La presente investigación es la segunda realizada con helechos en el Cerro verde, el primer estudio lo realizaron Siu & Rosales en 1977, los cuales reportaron 8 especies, mientras que en el presente estudio se reportan 13 especies, 5 más que en la anterior investigación para la localidad.

Siu & Rosales 1977, utilizaron un método de muestreo distinto al realizado en esta investigación; ellos aplicaron una línea de Candfield con una longitud de 20 metros por 50 centímetros de ancho, delimitando 7 de estos transectos por cada ladera, con un área de muestreo total de 280 m². En la presente investigación se muestreó un área de 1200 m², 77% más de área que el anterior trabajo, sin embargo, en el presente trabajo solo se tomaron en cuenta las laderas Sur y Este, las cuales fueron las más representativas para ambos estudios.

Cabe destacar que dentro de las especies reportadas por Siu & Rosales 1977, hay algunas discrepancias respecto a la taxonomía. Ellos reportan *Athyrium skinneri*, el cuál según la teoría no debería presentarse en esta comunidad, puesto que es de zonas bajas hasta los 1050 msnm (Monterrosa *et al.* 2009), única especie no reportada en este estudio.

Con relación a las otras 7 especies reportadas, ellos reportan al género *Asplenium* sin especie, además reportan a *Adiantum andicola* y *Blechnum occidentale* mientras que en el presente estudio se identificó *Adiantum coccifera* y *Blechnum appendiculatum* lo cual incrementa el número de especies reportadas del Cerro Verde.

Las otras 4 especies que reportan Siu & Rosales 1977, son las mismas que se reportan en este estudio, las cuales actualmente presentan sinonimia, siendo: *Polypodium angustum*, *Aspidium coriaceum*, *Polystichum affmuricatum* y *Polypodium montigenum*, actualmente corresponden a *Pleopeltis angusta*, *Polypodium pleurosorum*, *Polystichum hartwegii* y *Polypodium alansmithii* respectivamente.

Siu & Rosales 1977 tuvieron como especies más abundantes a *Athyrium skinneri*, *Blechnum occidentale*, y *Adiantum andicola*, mientras que en la presente investigación las más abundantes fueron *Pleopeltis angusta*, *Asplenium cuspidatum* y *Polypodium alansmithii*.

Carvajal 2011 realizó un estudio Pteridológico en bosque mesófilo de montaña, empleó una metodología similar a la realizada en este estudio, pero a mayor escala, muestreando 1200 m² por cada comunidad, casi todas las especies registradas en el presente estudio se encuentran registradas en la composición que Carvajal 2011 reporta para el bosque mesófilo de Veracruz a excepción de *Blechnum guatemalense*.

Otro estudio realizado con Pteridophyta en El Salvador es el de Bernal 2013, en las lavas de San Marcelino, al sur del Cerro Verde, en el que muestreó 46 hectáreas, en donde reportó 29 especies de helechos, lo cual es interesante puesto se trata de un ecosistema en sucesión. Dos de las especies que reporta Bernal 2013, se encuentran en el bosque montano del Cerro Verde como especies generalistas siendo estas, *Ctenitis equestris* y *Polypodium colpodes*.

Cabe recalcar que el área de estudio se encuentra alterada por el impacto antropogénico que el turismo genera en el Parque, por lo que las especies reportadas son en su mayoría generalistas, lo que les permite tolerar las alteraciones del ambiente. Los valores obtenidos de los índices reflejan una diversidad media, probablemente debido la influencia antropogénica que ha modificado la cobertura y composición florística en el Parque, alterando las condiciones ambientales del Cerro Verde. Delgado 2006, hace hincapié en el impacto que las actividades antropogénicas ejercen en la comunidad de helechos de Andalucía, la cuales son aplicables a las comunidades de El Salvador.

6.1.5. Composición y diversidad de la vegetación arbórea del dosel.

La composición arbórea del dosel del Parque Nacional Cerro verde fue estudiada por Salguero & Rosales, 1978, que registraron 14 especies, dos más que en el presente estudio. Cabe destacar que el artículo que publicaron carece de la información metodológica del diseño de muestreo que emplearon, puesto que solo mencionan haber empleado el método de “quarter point” sin especificar el tamaño de las áreas muestreadas ni el tipo de muestreo empleado. Sin embargo, registran cuatro especies que no fueron registradas en el presente

estudio, estas son *Lippia myriocephala*, *Rondeletia laniflora*, *Rhamnus capreaefolia* y *Zinowiewia integerrima*.

Los índices de diversidad de la vegetación en esta investigación, arrojan una diversidad media, dado que se trató de un ecosistema con incidencia antropogénica, se encuentra perturbado y se pueden observar especies que predominan donde el impacto es mayor, en el sitio 1, se observó una composición florística de un bosque joven, sin especies arbóreas mayores, con una abundancia de *Perymenium grande* y *Oreopanax xalapensis*, sin embargo los sitios 2 y 3 presentaron una composición florística de bosque maduro, con mayor abundancia de especies arbóreas de gran tamaño como *Quercus sp.*, siendo éstas las menos perturbadas.

Las especies que presentaron mayor valor de IVI en la presente investigación fueron *Quercus skinneri*, *Montanoa guatemalensis*, *Nectandra cf. cuspidata*, *Ardisia compresa* y *Oreopanax xalapensis*. Salguero & Rosales 1978, determinaron que para el Cerro Verde las especies con mayor IVI fueron *Lippia myriocephala*, *Perymenium grande*, *Roupala glaberrima* y *Quercus sp.*, por lo cual, ambas investigaciones difieren un poco en las especies con los mayores valores de IVI, siendo *Quercus sp.*, el único género que coincide con ambas investigaciones, con un alto valor de importancia ecológica.

En el bosque muy húmedo montano bajo subtropical del Parque Nacional Cerro Verde, *Perymenium grande*, se observa como una especie agresiva, Salguero & Rosales 1978 mencionan que se establece en el medio y pasa sin ser sustituida por varios años, situación que se observó en el sitio 1. En general, la comunidad se encuentra alterada por el turismo, sin embargo, aún se observan remanentes del antiguo bosque primario del Cerro Verde.

6.1.6. Relación entre microclima y abundancia de Pteridophyta

Luego de realizado el análisis de correspondencia canónica, se pudo observar que las variables microclimáticas efectivamente ejercen un impacto en la abundancia de las Pteridophytas estudiadas.

El análisis permite verificar que entre las variables microclimáticas estudiadas, la temperatura y la humedad relativa se encuentran muy relacionadas, mientras que la variable viento fue inversamente proporcional a las dos anteriores, puesto que, a mayor presencia de viento, la temperatura y la humedad relativa disminuyen, lo que corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero. Las variables luz y radiación solar no presentaron algún tipo de relación con el resto de variables microclimáticas.

Los helechos necesitan de condiciones de humedad, que la deposición por niebla permite mantener alta durante todo el año en el Cerro Verde, además de la cobertura vegetal que crea condiciones variables de luz, que influye en el desarrollo de los helechos, tal como lo establecen Santamaría s.a. y Sanz 2004.

De las 13 especies identificadas, 6 de ellas presentaron un comportamiento mayormente generalista en relación a las variables microclimáticas puesto que toleran las oscilaciones pronunciadas de las variables, siendo estas las especies *Asplenium cuspidatum*, *Pleopeltis angusta*, *Polypodium alansmithii*, *Polypodium hartwegianum*, *Polypodium pleurosum* y *Vittaria graminifolia*, las cuales el análisis de correspondencia canónica arroja al centro del gráfico, indicando mayor capacidad de resiliencia al medio.

La luz y la radiación solar condicionaron particularmente a dos especies; *Ctenitis equestris* y *Polypodium colpodes*, las cuales necesitan de abundante luz para su desarrollo, creciendo generalmente en zonas con claros, que permitan en una mayor incidencia de luz hacia el sotobosque, lo cual concuerda con Bernal 2013 quien las reportó para las lavas de San Marcelino. En cambio, *Adiantum cf. concinum* y *Blechnum appendiculatum* se presentaron bajo condiciones de baja luminosidad, donde la vegetación fue más densa, también estas últimas están fuertemente relacionadas con condiciones de temperatura suaves y humedad relativa más bajas para *Adiantum cf. concinum* y una temperatura y humedad relativa superior para *Blechnum appendiculatum*.

Las especies *Dryopteris patulata*, *Elaphoglossum cf. guatemalense* y *Polystichum hartwegii*, presentaron mayor tolerancia a la variable viento y mayor capacidad para soportar la desecación, por consiguiente, una menor humedad relativa.

Las especies de Pteridophyta en el sotobosque forman parte de los organismos que se ven influenciados bajo las coberturas forestales Sanz 2004, establece que las especies serán dependientes de las condiciones imperantes bajo el dosel de árboles del bosque, atenuando o incrementando la abundancia de las especies, situación que se ve reflejada en la presente investigación en dónde las condiciones microclimáticas establecen los patrones distribución, abundancia, riqueza y diversidad de las especies.

7. CONCLUSIONES

Se concluye que, en la actualidad, la temperatura presentó mayor rango de oscilación con relación a los promedios obtenidos en el periodo 1981 – 1987, siendo el incremento promedio de 1.7 °C.

Los promedios diarios y mensuales del microclima presentaron un comportamiento normal; donde las variables fueron atenuadas por el dosel, la temperatura presentó menor oscilación durante la época lluviosa, la humedad relativa tuvo un comportamiento similar en ambas estaciones, en cambio el viento no tuvo un comportamiento definido debido a las constantes oscilaciones diarias influenciadas por los vientos “nortes”, la brisa valle-montaña y la brisa marina, asimismo la luz y la radiación solar presentaron una disminución de horas luz en la época seca y éstas presentaron su cenit en horas del mediodía.

Los promedios mensuales de las variables microclimáticas mostraron poca variación; la temperatura osciló en 2.9 °C, la humedad relativa 10%, velocidad del viento 7.3 Km/h, luz y radiación solar de 0 a 528 lux y de 0 a 0.0031 cal/cm²*min, mientras que la atenuación por la cobertura vegetal osciló desde un 7 al 99.5%, siendo mayor para la velocidad del viento, luz y radiación solar.

La diversidad de Pteridophyta fue media con representación equitativa entre las especies registradas, todas pertenecientes al orden Polypodiales, siendo la mayoría de las especies epífitas (96%) con relación a las terrestres (4%); las especies más abundantes fueron *Asplenium cuspidatum*, *Pleopeltis angusta* y *Polypodium alansmithii*.

La diversidad de la vegetación del dosel fue media, representada por 12 especies arbóreas con representación equitativa. Mientras que el mayor valor de importancia fue para *Quercus skinneri*, *Montanoa guatemalensis* y *Nectandra cf. cuspidata*, que destacaron por la abundancia y área basal.

El 46.2% de la vegetación Pteridophyta presentó un comportamiento generalista en relación al microclima, ya que son más tolerantes y resilientes a las oscilaciones pronunciadas de las variables microclimáticas, mientras que el 53.8% están influenciadas por más de una de las variables microclimáticas en función de la abundancia; la luz y la radiación solar

favorecen a *Ctenitis equestris* y *Polypodium colpodes*. En cambio, valores bajos de luminosidad, temperatura y humedad relativa, a *Adiantum cf. concinum* y *Blechnum appendiculatum*. Por otra parte, *Dryopteris patulata*, *Elaphoglossum cf. guatemalense* y *Polystichum hartwegii*, mostraron mayor resistencia al viento y por ende más abundante a lugares ventosos.

El Parque Nacional Cerro Verde a pesar del impacto antropogénico que el turismo ejerce sobre él, cuenta con una de las zonas de vida más escasas del país, el bosque muy húmedo montano bajo subtropical, que representa el 1.61% de la extensión territorial, el cual constituye un relicto ecológico de importancia biológica.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre modelaje de escenarios de cambio climático, a partir de los datos obtenidos en las investigaciones previas, a nivel macroclimático y microclimático en el país.
- Realizar investigaciones a nivel macro, meso y microclimático a nivel local y regional en el país, con estaciones meteorológicas automáticas y extender las investigaciones a períodos climáticos de mayor representatividad.
- Incrementar las investigaciones de las Pteridophyta en El Salvador en campos tales como inventarios, usos etnobotánicos, distribución, fisiología, ecología e impactos antropogénicos de este grupo.
- Fomentar investigaciones multidisciplinarias que superen el nivel descriptivo e involucren componentes correlacionales o explicativos, que permitan generar conocimiento de las relaciones existentes entre los objetos de estudio y el medio en que se desarrollan.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berendsohn B., P. 1989. Listado de la Flora Salvadorensis, fascículo 1. Pteridophyta. Revista Cuscatlanía. Jardín Botánico Plan de La Laguna. El Salvador.
- Bernal Hernández, M. 2013. Identificación de helechos en el bosque las lajas del Área Natural Protegida Complejo San Marcelino. Universidad de El Salvador. Tesis para optar el grado de Licenciatura en Biología.
- Bonilla G. 2000. Cómo hacer una tesis de graduación con técnicas estadísticas. 4^a edición. El Salvador (SS): Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. 342 p.
- Cardenal R, Roque-Baldovinos R, Bahamond A, Cáceres G, Campos AH, Cañas-Dinarte C, González LA, Martí M, Peraza X, Rodríguez-Díaz R. 2000. Enciclopedia de El Salvador: Tomo I. España (Barcelona): Grupo editorial OCEANO. 224 p.
- Carvajal Hernández, C., I., 2011. Riqueza Pteridológica del bosque mesófilo de montaña, bajo diferentes grados de perturbación. Tesis para optar el grado de maestro en ecología tropical. Universidad Veracruzana. México. 90 pp.
- Chasco CF, Hijano CF. 1991. Biogeografía y edafogeografía. Síntesis.
- Chocarro M, P., Marín G., Jiménez B. & Knapp S. 1999. Helechos de Mbaracayú. The Natural History Museum, London. 142 pp.
- Correa J.C. Iral R., Rojas L. 2006. Estudio de potencia de homogeneidad de varianzas. Universidad Nacional de Colombia. Revista Colombiana de estadística, Vol. 29, No. 1. pp 57 a 56.
- Cuadras C., M. 2014. Nuevos métodos de análisis multivariante. CMC Editions. España. 305 pp.
- Davidse G., Sousa M. & Knapp S. (1995). Flora Mesoamericana. Volumen 1, Psilotaceae a Salviniaceae. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Delgado V., A., J. & Plaza A., L. 2006. Helechos amenazados de Andalucía. Junta de Andalucía. España. 128 pp.

- Fraser-Jenkins. 2007. The especies and the subspecies in the *dryopteris afinnis* group. 18(1):1-26. 2007. Nepal.
- Fredericksen BM. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia.
- Gliessman SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE.
- Gómez P., L., D. 1982. Contribuciones a la pteridología Centroamericana. *Revista Brenesia* 19/20: 151-164. Costa Rica.
- Heuvel dop J, Pardo J, Quirós S. & Espinoza, L. 1986. *Agroclimatología Tropical*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.
- Holdridge LR. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. Agroamerica.
- Kessler M. y Bach K. 1999. Using indicator groups for vegetation classification in species-rich Neotropical forests. *Phytocoenologia* 29:485–502.
- Loetschert W. 1954. Nuevas Pteridophytas para El Salvador, una contribución a la flora pteridophyta de América Central. *Revista Comunicaciones* Vol. 3. (3).
- Maldonado López ÁD. 1988. Caracterización microclimática del manglar de la Zunganera. [San Salvador]: Universidad de El Salvador.
- Matteucci D., & Colma., A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Venezuela. 169 pp.
- Maxon W., R. & Standley P., C. 1930. Ferns of the Republic of El Salvador. *Biological Society of Washington*. 43: 167-178. United States.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 1987. *Almanaque Salvadoreño*. Centro de Recursos Naturales y Servicio de Meteorología e Hidrología. San Salvador. El Salvador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2012. Clasificación de suelos por división política de El Salvador, C.A. El Salvador (Soyapango): Ministerio de Agricultura y Ganadería.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) 2013. Zonas de vida de la Republica de El Salvador, C.A. 2013. El Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2007. Reserva de la Biosfera Apaneca-Ilamatepec. Ficha técnica. El Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) 2011. Mapa de los ecosistemas de El Salvador, actualización 2011. El Salvador. 123 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) 2015. Listado oficial de especies de vida silvestre amenazada o en peligro de extinción. Acuerdo No. 74. El Salvador.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). s.a. Áreas Naturales Protegidas. El Salvador.
- Monro A., Monterrosa J. & Ventura N. 2002. Helechos de los cafetales de El Salvador. Natural History Museum of London. El Salvador. 72 pp.
- Monterrosa J. & Monro A., K. 2008. An annotated checklist of the monilophytes (ferns) and lycophytes of El Salvador. Revista The Fern Gazette 18(4):120-215.
- Monterrosa S., J., A., Peña-Chocarro M., C., Knapp S. Lechuga R., E. 2009. Guía de identificación de helechos de El Salvador. El Salvador. 557 pp.
- Oliver JE, Hidore JJ. 2002. Climatology: An Atmospheric Science. Prentice Hall.
- Pareja Millán, A, E. 2008. Patrones higrotérmicos del microclima del bosque, en un gradiente altitudinal del Cerro Hornuni, Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata región de Yungas de la Paz. La Paz. Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.
- Peña D. 2002. Análisis de datos multivariantes. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. España. 539 pp.
- Quesada R., M. 2007. Los bosques de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Centro de Investigación Integración Bosque Industria. Costa Rica.

- Salazar CH. 2010. Estudio microclimático de un bosque natural de asociación pino-roble en el municipio de la Reina, Departamento de Chalatenango. El Salvador (SS): MARN y AECID.
- Salazar CH. 1984. Investigaciones micrometeorológicas en plantaciones de café (*Coffea arabica* L.). Servicio de Meteorología e Hidrología, Centro de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador.
- Salguero de Fuentes B. N. & Rosales V. M. 1978. Cerro Verde, análisis preliminar de la vegetación arbórea en zonas de disturbio. Universidad de El Salvador. Rev. Comunicaciones 2 (5).
- Santamaría JA. s.a. Características climáticas y aproximación a condiciones microclimáticas del bosque nebuloso del volcán de Santa Ana. Universidad de El Salvador. Rev. Comunicaciones.
- Santamaría JA. 1987. Características climáticas de El Salvador. Universidad de El Salvador. Rev. Comunicaciones 4 (1).
- Sanz VG. 2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática. Investig. Agrar. Sist. Recur. For. 13:84–100.
- Seiler R. 1980. Una guía taxonómica para helechos de El Salvador. Museo de Historia Natural de El Salvador. MINED. El Salvador. 58 pp.
- Sistema Nacional de Estudios Territoriales [Internet]. s.a. Clima en El Salvador. San Salvador (ES): Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Siu M. B. & Rosales V. M. 1977. Pteridophytas del Cerro Verde, dominancia y distribución. Universidad de El Salvador. Rev. Comunicaciones 1 (1).
- Stadtmüller T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo: una revisión bibliográfica. Bib. Orton IICA / CATIE.
- Stevens W.D. Montiel O.M. & Pool A. 2001. Flora de Nicaragua. Tomo IV, helechos, Nicaragua.
- Torres TA. 1996. Elementos de meteorología y climatología. Trillas.

Velasco E, Verdecia J, Medina R, Rodríguez L. 2001. Variaciones en el microclima de un cafetal en dependencia de la exposición a la radiación solar en las condiciones del macizo de la sierra maestra. *Cultiv. Trop.*

<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=193230161005>

Vertel M. M. L. 2010. Comparación entre el análisis canónico de correspondencias y el análisis factorial múltiple en tablas.

_____ 2010. Cuarto informe al convenio sobre diversidad biológica en El Salvador. El Salvador. 153 pp.

10. ANEXOS



Anexo 1. *Asplenium cuspidatum* Lam.



Anexo 2. *Blechnum appendiculatum* Willd.



Anexo 3. *Ctenitis equestris* (Kunze) Ching var. *equestris*.



Anexo 4. *Dryopteris patulata* (Sw.) Underw.



Anexo 5. *Elaphoglossum cf. guatemalense* (Klotzsch) T Moore



Anexo 6. *Polystichum hartwegii* (Klotzsch) Hieron



Anexo 7. *Pleopeltis angusta* Humb & Bonpl. Ex Willd.



Anexo 8. *Polypodium alansmithii* R.C. Moran.



Anexo 9. *Polypodium colpodes* Kunze var. *colpodes*



Anexo 10. *Polypodium hartwegianum* Hook.



Anexo 11. *Polypodium pleurosorum* Kunze ex Mett.



Anexo 12. *Vittaria graminifolia* Kaulf