

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA
VEGETACIÓN VASCULAR HERBÁCEA DE LA SIERRA DE LOS CUCHUMATANES Y
DE LA ANTÁRTIDA, Y POSIBLES RELACIONES CON EL CAMBIO CLIMÁTICO
TESIS DE GRADO

RICARDO ANTONIO MOLINA HERRERA
CARNET 12688-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2014
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA
VEGETACIÓN VASCULAR HERBÁCEA DE LA SIERRA DE LOS CUCHUMATANES Y
DE LA ANTÁRTIDA, Y POSIBLES RELACIONES CON EL CAMBIO CLIMÁTICO
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
RICARDO ANTONIO MOLINA HERRERA

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, NOVIEMBRE DE 2014
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLEGER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. MERVIN EMANUEL PÉREZ PÉREZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. MARÍA DEL PILAR NEGREROS PRATDESABA

LIC. MANUEL JOSÉ CASTILLO MAZARIEGOS

LICDA. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

Guatemala 07 de Octubre de 2014

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Ricardo Antonio Molina Herrera, carné 12688-09, titulada "Cambios en la composición abundancia y distribución de la vegetación vascular herbácea de la Sierra de los Cuchumatanes la existente en la Antártida y posibles relaciones con el cambio climático".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Lic. Mervin Emanuel Pérez Pérez, MSc.
Colegiado No. 2839
Cod. URL 21463



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06219-2014

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante RICARDO ANTONIO MOLINA HERRERA, Carnet 12688-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06122-2014 de fecha 16 de octubre de 2014, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN VASCULAR HERBÁCEA DE LA SIERRA DE LOS CUCHUMATANES Y DE LA ANTÁRTIDA, Y POSIBLES RELACIONES CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 12 días del mes de noviembre del año 2014.



ING. REGINA CASTANEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios: por darme la bendición de haber podido llegar a la culminación de mi carrera.

Mis padres: Por su apoyo incondicional y haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y prepararme para la vida.

Mis abuelos, tíos, primos y sobrinos: por darme su cariño y consejos en todos los momentos de mi vida.

La Universidad Rafael Landívar: Por haberme abierto las puertas y ser mi casa de estudios.

Mi asesor: Lic. Mervin Pérez, por su respaldo, orientación y consejos recibidos, por haber creído que este proyecto era posible.

Lic. Jorge Jiménez: por brindarme su apoyo en la identificación de especies y durante todo el proceso de este trabajo.

El Centro de Estudios Conservacionistas - CECON: Por brindarme su colaboración y haber permitido realizar con ustedes mi proyecto de tesis.

El Instituto Antártico Uruguayo - IAU, El Instituto Antártico Chileno - INACH, El Instituto Antártico Argentino - IAA y El Programa Antártico Brasileiro - PROANTAR: por brindarme la colaboración científico - militar durante mi estadía en la Antártida.

El Programa "*Premios Antárticos de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente para jóvenes científicos*": por haber valorado este proyecto y haberme dado la oportunidad de conocer el fin del mundo.

El Herbario de la FCAA: por permitirme incrementar mis conocimientos y darme un espacio en donde realizar mis estudios.

Mis catedráticos: Por haber compartido sus conocimientos y experiencias para enriquecer mi formación profesional.

Mis amigos: Que me acompañaron y me brindaron su amistad en todos estos años: José Monterroso, Luis Hernández, Josué Mena, Katherine Chutan, Alberto Xicara y demás compañeros que dejaron recuerdos que nunca olvidaré.

DEDICATORIA

A:

Dios: Por ser mi padre celestial, en quien confío y me permite cumplir todos los sueños de mi vida.

Mis padres: Por su amor incondicional y todo el sacrificio que realizaron, merecen hacer suyos todos los momentos importantes de mi vida.

Mi familia Aguilar Urruela: gracias por su amor, consejos, paciencia y por haberme hecho sentir como un miembro más de su familia durante mi carrera, siempre los llevaré en mi corazón.

Bruno Alonso: Director de Área Táctica, fundador de los Premios Antárticos, Jefe de expedición y sobre todo, un gran amigo, por sus sabios consejos y por creer que Guatemala tiene el potencial para realizar ciencia en la Antártida.

Mi Patria: Por ser mi tierra natal; que con orgullo llevo mi bandera a cualquier lugar a donde vaya.

Usted: Con todo respeto, por tomarse su tiempo en la lectura de este documento.

INDICE

RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 IMPORTANCIA DE LA VEGETACIÓN HERBÁCEA	3
2.2 ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN.....	3
2.3 SUCESIÓN VEGETAL.....	4
2.3.1 Estudios en la misma área.....	4
2.3.2 Estudios de comparación de áreas aledañas	4
2.4 CATEGORÍAS Y VARIABLES FLORÍSTICAS	5
2.4.1 Composición Florística.....	5
2.4.2 Cobertura	5
2.4.3 Frecuencia	5
2.4.4 Distribución	6
2.4.5 Índices de diversidad	7
a. Índice de Shannon-Wiener	7
b. Índice de Simpson	7
2.4.6 Índice de Similitud	8
a. Índice de Bray Curtis	8
2.4.7 Coeficiente de correlación en la vegetación.....	8
a. Coeficiente de correlación Wilcoxon Test.....	8
2.5 ZONAS CLIMÁTICAS	8
2.5.1 Zonas tropicales.....	9
2.5.2 Zonas polares	10
2.6 CAMBIO CLIMÁTICO	10
2.6.1 Gases de efecto invernadero	10
2.6.2 Cambio Climático Global.....	11
2.7 DEPARTAMENTO DE HUEHUETENANGO.....	14
2.8 SIERRA DE LOS CUCHUMATANES.....	14

2.8.1 Temperatura	14
2.8.2 Precipitación	15
2.8.3 Zona de Vida.....	15
2.8.4 Geología	15
2.8.5 Suelo.....	15
2.8.6 Vegetación de la Sierra de los Cuchumatanes	16
2.8.7 Cambio Climático en la Sierra de los Cuchumatanes	16
2.9 CONTINENTE ANTÁRTICO.....	17
2.9.1 La Antártida y su conexión con el resto del planeta.....	18
2.10 ISLAS SHETLAND DEL SUR – ANTÁRTIDA.....	18
2.10.1 Clima.....	19
2.10.2 Precipitación.....	19
2.10.3 Geología	20
2.10.4 Suelo.....	20
2.10.5 Demografía	20
2.10.6 Vegetación de las Islas Shetland del Sur – Antártida.....	21
2.10.7 Cambio Climático en las Islas Shetland del Sur – Antártida.	21
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	23
3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	24
IV OBJETIVOS.....	27
4.1 OBJETIVO GENERAL	27
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
V. METODOLOGÍA	28
5.1 AMBIENTE	28
5.2 UNIDAD DE ANÁLISIS	30
5.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	30
5.4 INSTRUMENTOS	30
5.5 PROCEDIMIENTO.....	32

5.5.1 Consulta Documental.....	32
5.5.2 Fase de Campo.....	33
5.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	34
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
6.1 MESETA ALTA DE LA SIERRA DE LOS CUCHUMATANES	35
6.2 ISLA REY JORGE E ISLA ROBERT – SHETLAND DEL SUR (ANTÁRTIDA)	59
6.3 RELACIÓN DE LOS DOS ECOSISTEMAS Y SU RESPUESTA ANTE EL CAMBIO CLIMATICO.....	68
VII. CONCLUSIONES	71
VIII. RECOMENDACIONES.....	74
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	75
X. ANEXOS.....	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Patrones de distribución de las especies de plantas. A) distribución al azar, b) distribución agregada, c) distribución uniforme.	6
Figura 2. Zonas climáticas del planeta Tierra, descritas en función de los elementos climáticos	9
Figura 3. Descripción gráfica del efecto invernadero del planeta Tierra.....	11
Figura 4. Concentraciones de CO ₂ en la atmósfera que ha incrementado la temperatura media global	12
Figura 5. Procesos de calentamiento y enfriamiento del planeta Tierra	13
Figura. 6. Esquema de la deriva continental.....	17
Figura 7. Ubicación de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y puntos de muestreo	28
Figura 8. Ubicación de las Islas Shetland del Sur y puntos de muestreo	29
Figura 9. Forma de muestrear la vegetación por medio de una parcela de 1 m ²	31
Figura 10. Especies reportadas para el período de 1995 - 2012 por localidades de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes.....	36
Figura 11. Proporciones de familias presentes dentro de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 1995.....	37
Figura 12. Proporciones de familias presentes dentro de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 2012.....	39
Figura 13. Cambios en la temperatura media anual y precipitación anual de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes en un período de tiempo de 41 años.....	40
Figura 14. Ocurrencias de las especies vegetales dentro del área de estudio durante el período de tiempo 1995 - 2012	42
Figura 15. Análisis de agrupamiento basado en la similitud entre localidades utilizando el índice de Bray- Curtis para los dos períodos. Izquierda – 1995; derecha – 2012.....	45
Figura 16. Ubicación de las localidades en función del relieve montañoso de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes	49

Figura 17. Distribución de la vegetación en función de la altura y su frecuencia en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 1995	50
Figura 18. Distribución de la vegetación en función de la altura y su frecuencia en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 1995	51
Figura 19. Cambios en la distribución de la vegetación en función de la altura y frecuencia para el período 1995 - 2012 en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes	53
Figura 20. Cambios en la temperatura media anual de la Antártida en un período de tiempo de 44 años (1969 - 2013).....	62
Figura 21. Cambio en la cobertura de <i>Deschampsia antarctica</i> en la Isla Rey Jorge e Isla Robert durante el período 2009-2013	65
Figura 22. Comparación de la temperatura media anual de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes vrs la Isla Rey Jorge e Isla Robert - Antártida, en un período de tiempo de 41 años (1971 – 2012).....	68
Figura 23. Muestreo de la vegetación.....	82
Figura 24. Parcela utilizada para el muestreo	82
Figura 25. Recolección de vegetación	82
Figura 26. Acercamiento con comunitarios	82
Figura 27. Determinación taxonómica, etiquetado, montaje y resguardo	82
Figura 28. Muestreo de la vegetación.....	84
Figura 29. Parcela utilizada para el muestreo.....	84
Figura 30. Determinación de <i>Colobanthus quitensis</i>	84
Figura 31 determinación de <i>Deschampsia antarctica</i>	84
Figura 32. Acercamiento con científicos y militares	84

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición vegetal de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes reportadas para el año 1995.	35
Cuadro 2. Composición vegetal de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes reportada para el verano del año 2012.	38
Cuadro 3. Índices de diversidad vegetal para los dos períodos de tiempo (1995 – 2012) en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes.	43
Cuadro 4. Cobertura y cambios en los patrones de Frecuencia Relativa de las especies para los períodos de 1995 – 2012.	47
Cuadro 5. Composición vegetal de la Isla Rey e Jorge e Isla Robert – Shetland del Sur (Antártida) para el año 2009.	59
Cuadro 6. Composición vegetal de la Isla Rey Jorge e Isla Robert – Shetland del Sur (Antártida) para el año 2013.	60
Cuadro 7. Cobertura vegetal para la Isla Rey Jorge e Isla Robert (Antártida) para el período 2009 - 2013.	63

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN, ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN VASCULAR HERBÁCEA DE LA SIERRA DE LOS CUCHUMATANES Y DE LA ANTÁRTIDA, Y POSIBLES RELACIONES CON EL CAMBIO CLIMÁTICO.

RESUMEN

El presente estudio realizado en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y en la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert), tuvo como objetivo determinar si la composición, abundancia y distribución de la vegetación herbácea de ambos ecosistemas se ha modificado por posibles efectos del clima. Se utilizó el diseño sugerido por Cumes (1995) y Torres *et al.* (2011) además se analizaron los datos de estaciones climatológicas existentes en cada región de estudio. Para la Sierra de los Cuchumatanes durante el periodo de 1992-2012 se determinó un incremento en la temperatura media de $+1.16^{\circ}\text{C}$ y una reducción de lluvias promedio de 1.47% en comparación al periodo de 1971-1991. La composición de especies reportó una diferencia significativa de ($p = 0.036$). La cobertura media para el 2012 fue de 9.47 %, mientras que la distribución determinó que *Oreomyrrhis daucifolia*, *Cirsium* sp, *Alchemilla vulcanica*, *Helenium integrifolium*, *Werneria nubigena*, *Gnaphalium standleyi* y *Helenia alata* han mantenido su rango normal de distribución pero su patrón de frecuencia ha cambiado. Para la Antártida durante el periodo de 1992-2013 se determinó un incremento en la temperatura media de $+0.4^{\circ}\text{C}$ y un aumento en la disponibilidad de agua por deshielo en comparación al periodo de 1969-1991. La composición de especies no ha cambiado, sin embargo la cobertura media ha aumentado para *Deschampsia antarctica* en 1.32% mientras que para *Colobanthus quitensis* en 2013 fue de 3 %. Asimismo la distribución reportó cinco localidades en donde se podría estudiar en años futuros el patrón de expansión. Finalmente el presente estudio sugiere que han existido cambios en las comunidades vegetales por efectos del cambio climático, por lo tanto, se recomienda realizar más monitoreos para comprobar esta hipótesis.

CHANGES IN THE COMPOSITION, ABUNDANCE AND DISTRIBUTION OF THE VASCULAR HERBACEOUS VEGETATION OF THE SIERRA DE LOS CUCHUMATANES AND OF THE ANTARCTIC, AND POSSIBLE RELATION TO CLIMATE CHANGE

SUMMARY

This study was carried out in the highlands of the Cuchumatanes mountain range and in the Antarctic (King George Island and Robert Island). The objective of the same was to determine whether the composition, abundance and distribution of herbaceous vegetation from both ecosystems have been modified by potential climate effects. The design suggested by Cumes (1995) and Torres et al. (2011) was used; in addition, data on climate conditions shown in each region of the study was analyzed. For the Cuchumatanes mountain range, during the 1992-2012 period, it was determined that the average temperature increased by $+1.16^{\circ}\text{C}$ and that the average rainfall was reduced by 1.47%, compared with the 1971-1991 period. The species composition reported a significant difference ($p = 0.036$). The average coverage for 2012 was of 9.47%, while the distribution determined that *Oreomyrrhis daucifolia*, *Cirsium* sp, *Alchemilla vulcanica*, *Helenium integrifolium*, *Werneria nubigena*, *Gnaphalium standleyi*, and *Helenia alata* remained within the normal distribution range, but its frequency has changed. For the Antarctic, during the 1992-2013 period, it was determined that there was an increase in the average temperature of $+0.4^{\circ}\text{C}$ and an increase in the availability of melt water, compared with the 1969-1991 period. The species composition has not changed; however, the average coverage has increased for *Deschampsia antarctica* by 1.32%, while for *Colobanthus quitensis*, in 2013, was 3%. In addition, five sites where the expansion pattern can be studied in the future were identified through the distribution. Finally, this study suggests that there have been changes in the vegetable producing communities due to climate changes; therefore, it is recommended to monitor the same to prove the hypothesis.

I. INTRODUCCIÓN

La vegetación herbácea es parte fundamental en la dinámica de un ecosistema y en tal sentido actúa como indicadora de los cambios que este puede sufrir debido a perturbaciones ambientales (Turner *et al.* 2009). A lo largo de la historia de la Tierra se han producido diversos eventos de cambio climático ocasionando extinción de especies, o en el mejor de los casos una adaptabilidad temporal (Turner *et al.* 2009). Estos eventos han alterando la composición, abundancia y distribución de las especies vegetales (Turner *et al.* 2009). Es importante estudiar e interpretar los cambios en la vegetación a distintas latitudes, pues indica el efecto del clima a distintas escalas y el nivel de adaptación de la vegetación a diversas latitudes¹. Este trabajo pretende generar un análisis preliminar de estos efectos en dos ecosistemas (meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida) que son altamente vulnerables a un incremento de la temperatura por el cambio climático.

La meseta central de la Sierra de los Cuchumatanes se encuentra ubicada en el departamento de Huehuetenango, Guatemala. Es la región más alta de esta conformación fisiográfica, la cual presenta altitudes que oscilan de 2000 a 3828 msnm, contando con una superficie de 492.7 km², y bajas temperaturas medias anuales iguales o menores a 6°C. La composición florística en el área asciende a 319 especies, de las cuales 22 especies son arbóreas, 50 arbustivas, 223 herbáceas, 9 líquenes, 5 epifitas, 5 lianas y 2 especies parásitas. En total se reportan 68 especies endémicas (Véliz, 2000).

La Antártida, es el cuarto continente más grande del mundo, con una superficie de alrededor de 14 millones de km², situándose en el extremo sur del planeta. La Península Antártica y las Islas Shetland del Sur, se proyectan entre las latitudes 60° –

¹ Meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes latitud 15° N / Isla Rey Jorge e Isla Robert – Antártida latitud 62° S.

70° Sur. Las altitudes oscilan entre los 0 a 80 msnm, y bajas temperaturas medias anuales iguales o menores a los -5°C. La vegetación antártica asciende a más de 350 líquenes, 2 especies vasculares, 100 musgos, hongos y algas (Dirección antártica de Argentina, 2009).

Los cambios en la vegetación herbácea de ambos lugares podrían alterar la dinámica de los ecosistemas, alterar las cadenas tróficas y las relaciones entre las plantas y polinizadores. Por otro lado, el cambio climático facilita la proliferación de enfermedades, virus y plagas para las especies nativas, y promueve el establecimiento de especies invasoras² (Hawkins *et al.* 2008). Por esa razón se pretenden evaluar los patrones de composición, abundancia y distribución de la vegetación vascular herbácea de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida, correlacionando estos patrones con el cambio climático. Esta correlación, permitirá identificar el efecto del cambio climático con las variables mencionadas de comunidades herbáceas a diferentes latitudes.

² Especies provenientes de Tierra del Fuego (Argentina) y/o Punta Arenas (Chile), principalmente.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 IMPORTANCIA DE LA VEGETACIÓN HERBÁCEA

El estrato herbáceo se caracteriza por tener plantas pequeñas, con tallos blandos o fibrosos, pero no leñosos. Pueden ser perennes (viven más de un año) o anuales (crecen, florecen, y se reproducen en el mismo año) (Véliz, 2000). La función que desempeña la vegetación en un ecosistema son numerosas tales como: regular el microclima local, captar y transformar la energía solar, transformar dióxido de carbono (CO₂) en oxígeno (O₂) mediante la fotosíntesis³, almacenar energía, proveer refugio a la fauna, ser agente anti erosivo del suelo, reducir la contaminación atmosférica y sonora, proveer materia prima para el hombre, posee valor cultural, entre otros (Mateucci *et al.* 1982).

2.2 ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN

El estudio de la vegetación proporciona un buen material predictivo debido a que en un estudio de este tipo se listan todas las especies y mediante la metodología se identifican las formaciones vegetales presentes en el área, registrándose en las diferentes formaciones vegetales encontradas: el estado sucesional, la densidad de la cobertura, la estructura vertical, las alturas de los estratos, y las especies dominantes por estratos y estado de conservación. Esta información permite cuantificar los recursos florísticos del lugar, incluyendo el porcentaje de endemismo⁴ y de este modo estimar los daños de la perturbación. (Chaviano, 2007). Los cambios en la composición, abundancia y la distribución de las comunidades vegetales funcionan como indicadores de los efectos del manejo a mediano y largo plazo, así como de los efectos del clima en la región. La vegetación es el reflejo del conjunto de interacciones de factores ambientales y en tal sentido actúa como indicadora. Las asociaciones entre tipo de vegetación y el hábitat tienen importancia

³ Formula de la fotosíntesis: $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$.

⁴ Los taxones endémicos son aquellos que están restringidos a algún lugar geográfico específico y pueden definirse como la *biodiversidad única* de una región (Cowling *et al.* 1994).

por su capacidad predictiva. Por lo tanto el estudio de la vegetación no sólo es de utilidad para la delimitación de zonas, sino también para la evaluación y comportamiento de la misma en función del clima (Mateucci *et al.* 1982).

2.3 SUCESIÓN VEGETAL

El estudio de la sucesión vegetal documenta los cambios existentes en la vegetación a través del tiempo. Estos cambios generalmente se producen a partir de una perturbación marcada en el área de estudio o por formación de nuevos sustratos. La sucesión originada posterior a un disturbio natural o antropogénico se denomina sucesión secundaria; mientras que la sucesión ocurrida en nuevos sustratos (formaciones de lava volcánica por ejemplo) se denomina sucesión primaria. Los estudios de sucesión vegetal pueden ser de dos clases: estudios realizados en la misma área y estudios de comparación de áreas aledañas (Fredericksen, 2000).

2.3.1 Estudios en la misma área

Los estudios en la misma área pueden ser realizados en parcelas permanentes o utilizando fotografías aéreas de diferentes épocas. En las parcelas permanentes se pueden marcar los individuos de cada especie, recolectando datos de diámetro y altura en monitoreos mensuales o anuales. El resultado final que se espera obtener, son los cambios en la composición y estructura en una determinada región, a partir de un lugar perturbado (sucesión secundaria). La comparación de fotografías aéreas de un mismo lugar es muy útil para determinar los cambios sucesionales de la vegetación a gran escala utilizando sistemas de información geográfica ⁵ (Fredericksen, 2000).

2.3.2 Estudios de comparación de áreas aledañas

Algunos investigadores no tienen la posibilidad de evaluar, por un largo tiempo, los cambios sucesionales de la vegetación. Para ello, dentro del diseño de muchos estudios se ha tratado de incluir tratamientos con todas las edades sucesionales posibles dentro de una misma región. La región o sitio de estudio debe ser lo más homogénea en términos de tipo de suelo, pendiente, humedad y otros factores que

⁵ Principalmente ArcGIS mediante capas de cobertura vegetal.

puedan influir en la interpretación de los resultados. El método consiste en seleccionar áreas con diferentes edades sucesionales y analizar los cambios en la composición y estructura de dicha región (Fredericksen, 2000).

2.4 CATEGORÍAS Y VARIABLES FLORÍSTICAS

2.4.1 Composición Florística

La composición florística es el conjunto de especies que integran una comunidad vegetal (Mateucci *et al.* 1982). Se emplea mediante listados o inventarios de todas las especies presentes dentro de la zona de estudio.

2.4.2 Cobertura

La cobertura es la proporción de terreno ocupado por una especie; es una manera eficiente de comprender la abundancia, se expresa como porcentaje de la superficie total (Mateucci *et al.* 1982).

La estimación del grado de cobertura de las especies proporcionaran datos acerca de su fuerza de competencia; es también importante desde el punto de vista socio-ecológico, porque las especies particulares influyen en distinto grado de la disponibilidad de agua de la comunidad según la superficie que cubran (Blanquet *et al.* 1979). Para la intercepción de cobertura relativa se calcula de la siguiente forma (Fredericksen, 2000). Esta variable se calcula mediante la fórmula:

$$C r = (N_i / N_t) * 100$$

Donde:

N_i = Número de individuos de una especie

N_t = Número total de cuadrantes en la parcela

2.4.3 Frecuencia

La frecuencia (F) de un atributo es la probabilidad de encontrar dicho atributo en una unidad muestral. Al incrementar la superficie de la unidad muestral, aumenta la probabilidad de encontrar en ella el atributo considerado, por lo tanto, esta variable

depende del tamaño de la unidad muestral (Mateucci *et al.* 1982). La frecuencia relativa (F_i) se expresa como porcentaje del número de unidades muestrales en las que el atributo aparece (m_i) en relación con el número total de unidades muestrales (M) (Mateucci *et al.* 1982). La frecuencia absoluta (F_a), es el número total de registros de una especie en cada unidad muestral. Esta variable se calcula mediante la fórmula:

$$F_i = (m_i / M) * 100$$

Donde:

F_i = Frecuencia Relativa

m_i = es el número de veces que aparece una especie en la unidad muestral

M = número total de unidades muestrales

2.4.4 Distribución

La frecuencia está relacionada con el patrón de dispersión que tienen los individuos; este patrón puede ser uniforme, agregado o aleatorizado. El patrón uniforme se refiere a cuando los individuos de una especie aparecen en la mayoría o en todos los muestreos. El patrón agregado es producto de la dispersión de individuos en grupos (ver Figura 1). El patrón de dispersión aleatorizado es cuando los individuos tienen la misma probabilidad de ser muestreados. (Fredericksen, 2000).

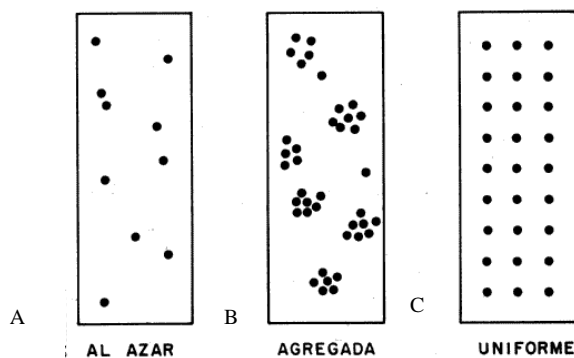


Figura 1. Patrones de distribución de las especies de plantas. A) Distribución al azar, B) Distribución agregada, C) Distribución uniforme (Fredericksen, 2000).

2.4.5 Índices de diversidad

a. Índice de Shannon-Wiener

Este índice determina la diversidad de especies de plantas de un determinado hábitat. Para utilizar este índice, el muestreo debe ser aleatorio y todas las especies de una comunidad vegetal deben estar presentes en la muestra (Fredericksen, 2000). Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

P_i = Abundancia relativa

\ln = Logaritmo natural

b. Índice de Simpson

El índice de Simpson es otro método utilizado, comúnmente, para determinar la diversidad de una comunidad vegetal (Fredericksen, 2000). Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S = 1 / \sum \left\{ \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N-1)} \right\}$$

Donde:

S = Índice de Simpson

n_i = número de individuos en la i ésima especie

N = número total de individuos

2.4.6 Índice de Similitud

a. Índice de Bray Curtis

Este índice en su fórmula $y_n - y_{12}$ indica que el valor de la diferencia es siempre positiva. Permite comparar dos comunidades mediante las variables analizadas en la muestra. Este índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$BC = \frac{\sum y_n - y_{12}}{\sum (y_n + y_{12})}$$

Donde

n = número de atributos (especies)

$y_n + y_{12}$ = valores del i ésimo atributo para cualquier muestra.

2.4.7 Coeficiente de correlación en la vegetación

a. Coeficiente de correlación Wilcoxon Test

La prueba de Wilcoxon Test es una prueba para comparar la media de dos muestras relacionadas y determinar si existen diferencias significativas entre ellas.

2.5 ZONAS CLIMÁTICAS

Teniendo en cuenta la circulación atmosférica y los elementos climáticos, en el mundo se diferencian cuatro grandes zonas climáticas (Ver figura 2) no obstante, para efectos de esta investigación únicamente se describirá la zona climática tropical y la zona climática polar.

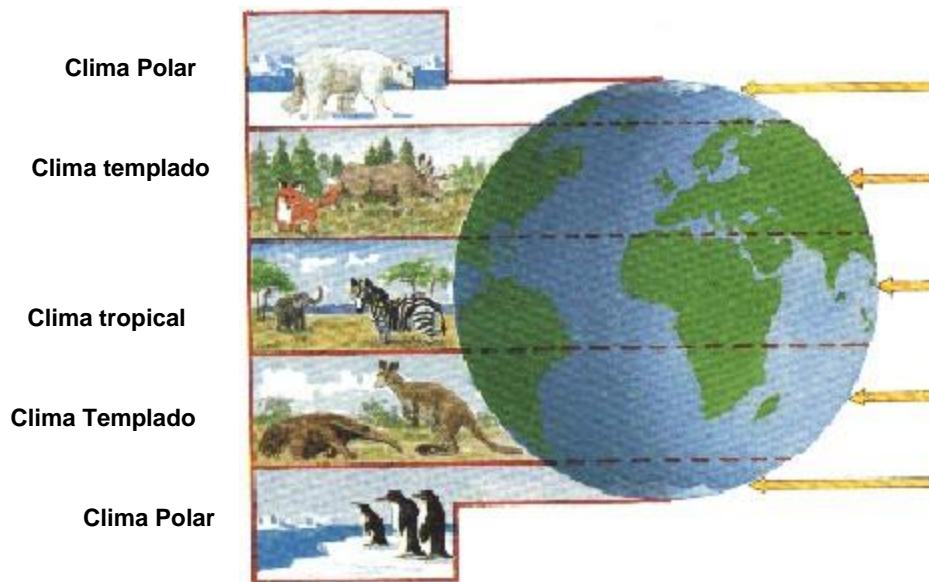


Figura 2. Zonas climáticas del planeta Tierra, descritas en función de los elementos climáticos (Escuela de Ecología San José, 2010).

2.5.1 Zonas tropicales

En estas zonas predominan los vientos alisios por el efecto Coriolis, en el hemisferio norte los alisios soplan predominantemente de noreste a suroeste, mientras que en el hemisferio sur lo hacen de sudeste a noroeste (Escuela de Ecología San José, 2010). Las zonas tropicales situadas entre los 15° y los 40° de latitud, son lluviosas por el alto grado de evapotranspiración. En algunas zonas se han registrado precipitaciones pluviales medias anuales, entre 1200 a 3000 milímetros. Por otro lado las temperaturas medias oscilan entre 20 a 30 grados centígrados ⁶ (Escuela de Ecología San José, 2010).

⁶ Estas zonas son las que poseen mayor riqueza vegetal.

2.5.2 Zonas polares

En ellas la situación es casi siempre anticiclónica debido a que las masas de aire frío descienden desde las alturas y se desplazan lateralmente hacia el sur (hacia el norte en el hemisferio sur). En estas zonas llueve muy poco, menos de 250 mm anuales (situación anticiclónica), por lo que se suele hablar de desiertos fríos, a pesar de que se mantienen cubiertos por hielos y nieve ⁷ (Profesor en línea, 2006). Las regiones polares reciben los nombres de Antártida (sur) y Ártico (norte). Al clima de estas zonas se lo denomina clima polar, debido a que sus temperaturas están siempre bajo cero. La Antártida, es más fría que el Ártico, un registro histórico midió una temperatura de -89.5°C, en la Estación Antártica Rusa de Vostok, récord en el clima de la Tierra (Profesor en línea, 2006).

2.6 CAMBIO CLIMÁTICO

2.6.1 Gases de efecto invernadero

La temperatura de un planeta está definida por su masa, la distancia con respecto al sol y la composición de su atmósfera, en el caso de la Tierra está compuesta por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, entre ellos los gases de efecto invernadero: vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), principalmente (Ver figura 3). Éstos tienen la capacidad de retener parte de la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre, manteniéndola así aún más caliente de lo que estaría en su ausencia, lo que ocasionaría que la temperatura media fuera alrededor de -20 grados centígrados (Estrada, 2001).

⁷ Estas zonas son las que poseen menor riqueza vegetal

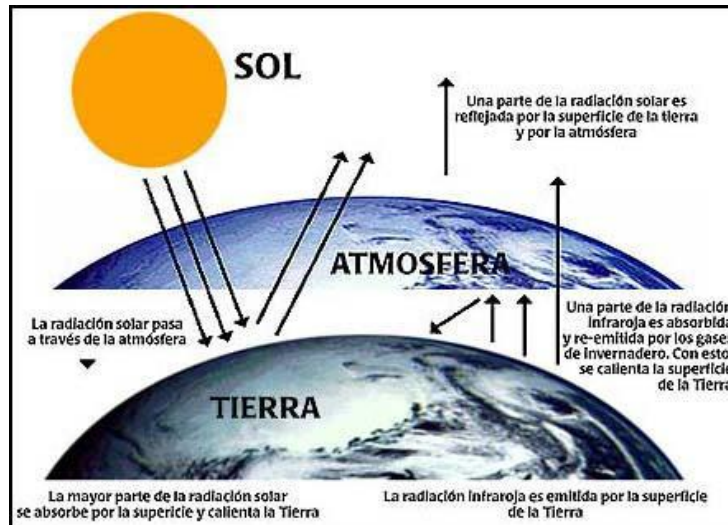


Figura 3. Descripción gráfica del efecto invernadero del planeta Tierra (Estrada, 2001).

2.6.2 Cambio Climático Global

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC - 1992), en el artículo 1 define al cambio climático como “*un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparable*” (IPCC, 2001) ⁸.

Durante los últimos 400 mil años, el clima de la Tierra ha sido inestable, con temperaturas oscilantes de un clima cálido a una edad de hielo. Estudios realizados en núcleos de hielo ⁹, se ha establecido una sólida correlación entre el contenido de CO₂ en la atmósfera y la temperatura terrestre (ver Figura 4), altas concentraciones atmosféricas de este gas han coincidido con incrementos en la temperatura media global (Estrada, 2001).

⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁹ Los núcleos de hielo o testigos de hielo se extraen principalmente de las capas acumuladas de hielo del Ártico y Antártida; se analizan las burbujas de aire que han quedado atrapadas a lo largo de los años.

Temperatura y concentración del CO₂ en la atmósfera durante los últimos 400 000 años
(Del núcleo de hielo de Vostok)

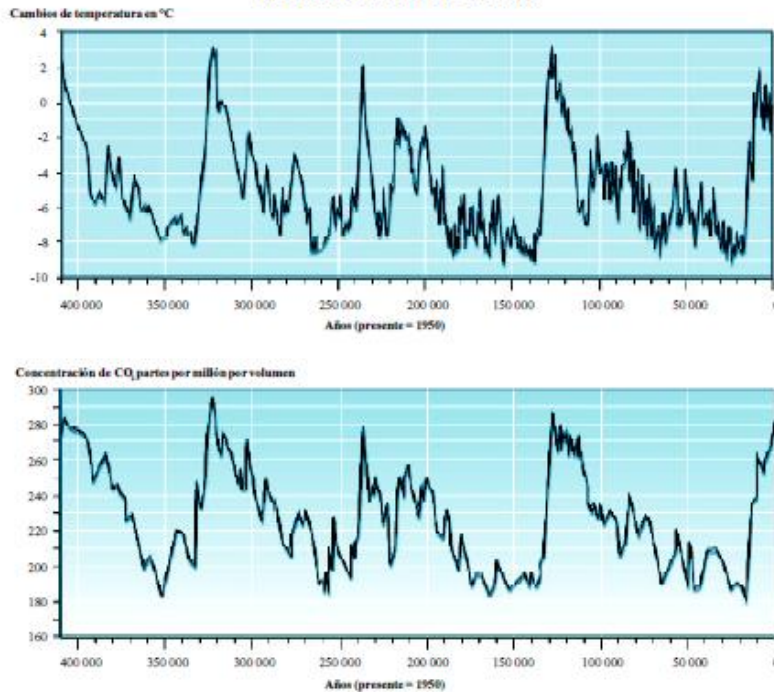


Figura 4. Concentraciones de CO₂ en la atmósfera que ha incrementado la temperatura media global (Estrada, 2001).

Según la información científica disponible, de 1750 a la fecha la concentración de gases de invernadero en la atmósfera ha aumentado en su mayor parte como resultado de la actividad humana (quema de combustibles fósiles, como: carbón, petróleo y gas; deforestación y actividades agrícolas, etc.) (Estrada, 2001). La concentración atmosférica del dióxido de carbono se ha incrementado desde entonces en 31% (una tasa de incremento sin precedente en 20 mil años), siendo la más alta en los últimos 420 mil años, e incluso, probablemente de los últimos 2 millones de años (Estrada, 2001). En el caso del metano, la concentración atmosférica ha crecido 151% en el mismo lapso, mientras que la del óxido nitroso se ha incrementado en 17 %, los 12 años con mayores temperaturas han ocurrido desde 1983, siendo 1998 el más cálido desde que se tiene registro instrumental (1861) (ver Figura 5) (Estrada, 2001). Existe, además, evidencia observacional de que el nivel medio del mar está subiendo (de 1900 a 1999 aumentó entre 10 y 20 cm); los glaciares no polares se están reduciendo en

todo el mundo; los hielos del Ártico están adelgazando en verano; en eventos de fuerte precipitación está cayendo una mayor proporción de la misma; la incidencia de sucesos climáticos extremos está aumentando en algunas partes del mundo; los episodios de El Niño han sido más frecuentes, persistentes e intensos desde mediados de la década de los años 70 (Estrada, 2001).

Tendencias de la temperatura superficial global promedio

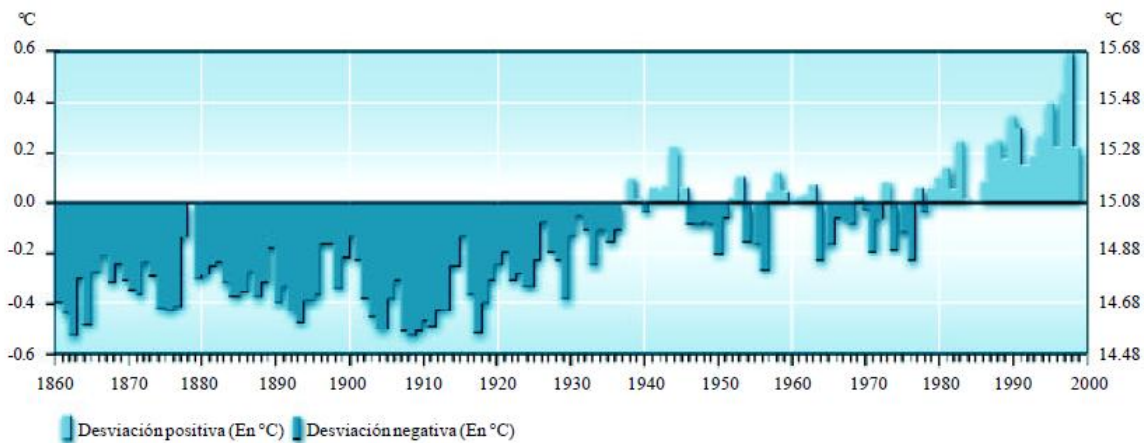


Figura 5. Procesos de calentamiento y enfriamiento del planeta Tierra (Estrada, 2001).

De la misma forma, se han notado algunos cambios en los sistemas biológicos, como la aparición temprana de flores en árboles, la puesta de huevos de aves antes de lo usual, el alargamiento de la temporada de cultivo, el cambio de rangos de distribución de insectos, plantas, animales hacia los polos y hacia mayores altitudes, la incidencia creciente de corales decolorados se han asociado a cambios regionales en el clima (Estrada, 2001). Si bien estos sistemas biológicos están sujetos a numerosas presiones que pueden alterar su comportamiento, debe notarse que los cambios observados son consistentes con respuestas biológicas al clima. La información disponible sugiere que la actividad humana está implicada en las modificaciones del clima y en particular, en el calentamiento observado en los pasados 50 años; de hecho, el aumento de temperatura observado desde alrededor de 1970 no se puede explicar considerando sólo fenómenos naturales. Las emisiones anuales promedio de CO₂ por quema de combustibles fósiles y cambios de uso de suelo en la década de los años 90 fueron de

alrededor de 7500 millones de toneladas de carbono (MtC)¹⁰, y se espera que para el 2100 sean de entre 5 mil y 35 mil MtC (Estrada, 2001).

2.7 DEPARTAMENTO DE HUEHUETENANGO

Huehuetenango es el quinto departamento más grande de Guatemala, con una extensión aproximada de 7,403 km², ocupando alrededor del 5.6% del territorio nacional. Cuenta actualmente con 32 municipios, siendo el departamento con mayor número de unidades administrativas municipales (PNUD, 2007)¹¹. Su cabecera es el municipio de Huehuetenango el cual se encuentra ubicado en la parte Sur Occidental del departamento, pertenece a la Región VII Nor-occidente según la Ley Preliminar de Regionalización decreto número 79-86 (PNUD, 2007).

2.8 SIERRA DE LOS CUCHUMATANES

La Sierra de los Cuchumatanes se encuentra ubicada en el departamento de Huehuetenango entre las coordenadas lat 15°30' - long 91°30'. Es una de las más prominentes de América, cruza el sector meridional de Huehuetenango y el centro del Quiché. Su longitud es de unos 400 kilómetros (Véliz, 2000).

2.8.1 Temperatura

El área se encuentra dentro de la región climática templado fresco y frío con temperaturas medias anuales de 7.65°C, con valores extremos que van de 0.6 °C a 15.3°C (De la Cruz, 1982). El área de estudio se localiza dentro de la provincia climática semifrío, con invierno benigno, jerarquía de humedad semiseco, con invierno seco. (Cabrera *et al.* 1980).

¹⁰ Guatemala es el tercer país más vulnerable a los efectos del cambio climático en Latinoamérica y el segundo a nivel mundial, sin embargo no influye directamente con el incremento de las emisiones de CO₂

¹¹ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

2.8.2 Precipitación

La pluviosidad y la duración de la estación seca son muy variables, el valor promedio de precipitación anual es de 800 mm aproximadamente, distribuidos en 140 días de lluvia entre los meses de mayo y octubre (De la Cruz 1982).

2.8.3 Zona de Vida

De acuerdo al informe No. 37 del IARNA (2011)¹². La Sierra de los Cuchumatanes se encuentra comprendida dentro de la zona de vida Bosque muy húmedo montano tropical (con información del Sistema de Holdridge). Las especies indicadoras de esta zona de vida son: *Juniperus standleyii* in Standl. & Steyerm y *Pinus hartwegii* Lindl (De la Cruz 1982).

2.8.4 Geología

En la Sierra de los Cuchumatanes se encuentran tres formaciones geológicas: la formación Ixcoy del período cretácico, compuesta por caliza y dolomita en capas masivas; en menores extensiones la formación Sepur del Cretácico Terciario compuesta por arenisca, limolita, lutita, carbonatos de grado menor; y la tercera es la de Depósitos Glaciares Cuaternarios (IGN, 1968)¹³.

2.8.5 Suelo

Según el Mapa Mundial de suelos de FAO – UNESCO¹⁴ escala 1:5,000,000 toda el área se clasifica como Rendzimas. Según Simons, Tarano y Pinto (1959), las características de los suelos del área son las que corresponden al grupo de Suelos de los Cerros de Caliza y específicamente las correspondientes a la Serie Toquiá (Simmons *et al.* 1959).

¹² Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente.

¹³ Instituto Geográfico Nacional.

¹⁴ Food and Agriculture Organization - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Los suelos de la serie Toquiá se caracterizan por ser poco profundos, bien drenados, desarrollados sobre caliza en un clima frío y húmedo. Ocupan relieves inclinados a gran altitud. El suelo superficial es franco limoso, de color café muy oscuro a negro. El contenido de materia orgánica es muy alto, mayor de 50 por ciento. La estructura es granular. La reacción es ligeramente ácida, pH de 6.0 a 6.5 (Simmons *et al.* 1959).

2.8.6 Vegetación de la Sierra de los Cuchumatanes

La composición florística colectada y determinada en el área asciende a 319 especies de las cuales 22 especies son arbóreas, 50 arbustivas, 223 son herbáceas, 9 líquenes, 5 epífitas, 5 lianas y 2 especies son parasitas. 68 especies son endémicas (Véliz, 2000). Las formaciones boscosas aun presentes dentro del área, son poco densas dominadas por coníferas como: *Abies guatemalensis* (Pinabete), *Pinus hartwegii* (Pino) *Juniperus standleyii* (Huito). Es estrato arbustivo existente dentro de los bosques, es poco denso y diverso, siendo las especies más frecuentes de observar: *Baccharis vaccinioides*, *Holodiscus argenteus*, *Oxylobus ganduliferus*, *Rubus trilobus* y *Pememon gentianoides*. Las lianas y epífitas son muy raras dentro de la región. La parásita muy frecuente y que parásita al Pino y Huito es: *Arceuthobium vaginatum*. El estrato herbáceo en la pradera subalpina, es el más diverso y denso en la meseta, contando con más de 223 especies, siendo algunas de las especies más frecuentes: *Werneria nubigena*, *Helenium integrifolium*, *Alchemilla spp.* *Lobelia spp.* *Gentiana pumilio*, *Trifolium amabile* y *Muhlenbergia spp* (Véliz, 2000).

La Sierra de los Cuchumatanes, muestra la adaptación de las plantas a las condiciones adversas del medio, en donde el factor limitante es, la baja temperatura y como respuesta, muchas especies son caulescentes con portes que no superan los 10 cm, hojas coriáceas y la presencia de bosque enano (Véliz, 2000).

2.8.7 Cambio Climático en la Sierra de los Cuchumatanes

La Sierra de los Cuchumatanes es una de las regiones más deforestadas de Guatemala, existen regiones en donde se hace notar la erosión del suelo. Por su orografía, sus microclimas, y la variación de regiones, la Sierra de los Cuchumatanes

es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático: Procesos de deforestación, vulnerabilidad a desastres, desertificación, heladas, entre otros (ASOCUCH, 2004).¹⁵

2.9 CONTINENTE ANTÁRTICO

La Antártida, el sexto continente, es una masa continental que ocupa el Polo Sur geográfico de nuestro planeta. Basándose en la distribución de flora fósil y de sedimentos de origen glacial, se propuso la existencia en el pasado de un supercontinente llamado Gondwana hace 180 millones de años, que incluía: India, África, Australia y a Sudamérica (Ver figura 6). Al fragmentarse Gondwana los continentes se fueron desplazando ubicándose en su posición actual hace 30 millones de años (INACH 2006).¹⁶

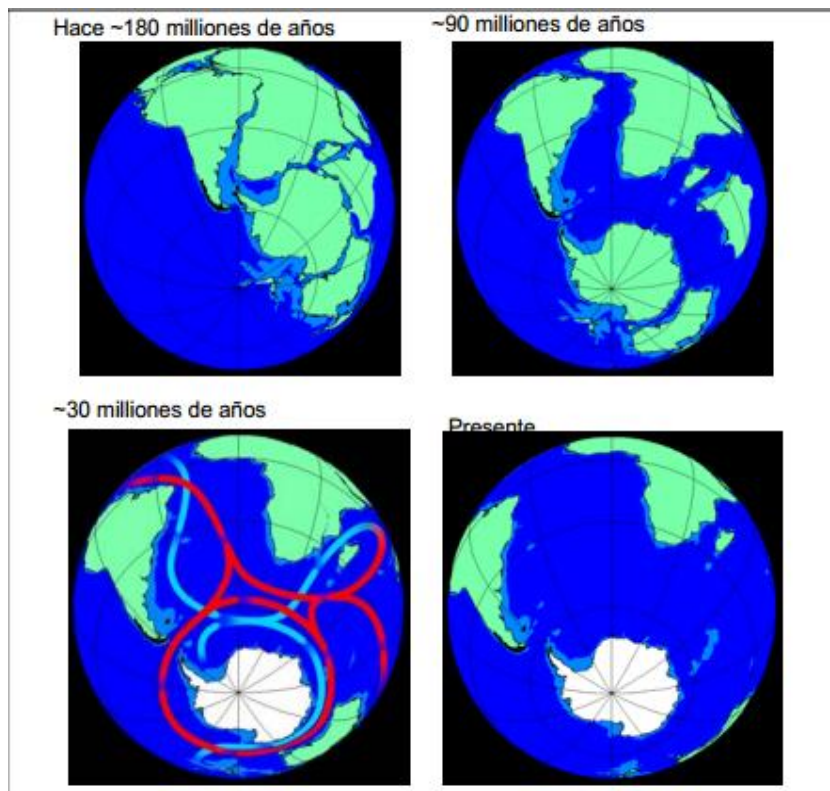


Figura. 6. Esquema de la deriva continental (INACH, 2006).

¹⁵ Asociación de Organizaciones de los Cuchumatanes

¹⁶ Instituto Antartico Chileno

El relieve antártico es muy distinto al del resto de los continentes, la altura media del continente es 2000 m, lo cual lo hace el continente más alto en promedio ya que una gruesa capa de hielo cubre la mayor parte del terreno. El volumen total del hielo existente en la Antártida es superior a los 25 millones de kilómetros cúbicos. Esta cifra representa alrededor de un 90% de todo el hielo existente en nuestro planeta. Dicho de otra manera, he allí la reserva de agua dulce más grande del planeta: una cantidad de agua potencial equivalente al 72% de la totalidad del agua de la Tierra (INACH 2006).

2.9.1 La Antártida y su conexión con el resto del planeta

La Antártida está conectada al sistema climático global por medio de importantes enlaces de gran escala, conocidos como teleconexiones. Aguas calientes profundas del Atlántico norte (*North Atlantic Deep Water*) moviéndose hacia el sur a profundidades de 2000 - 3000 metros, son 'compensadas' por el flujo hacia el norte de aguas frías subantárticas cerca de la superficie (*Subantarctic Mode Water*), más abajo (*Antarctic Intermediate Water*) y en el fondo (*Antarctic Bottom Water*). Las aguas profundas del Atlántico norte y de la Antártida son los principales constituyentes del llamado 'cinturón transportador termohalino', que mantiene oxigenado al océano y regula la temperatura de la Tierra. Comprender el funcionamiento global de este mecanismo de transporte implica entender los procesos en el océano Antártico (SCAR, 2004) ¹⁷. La investigación de las relaciones entre la Antártida y el resto del mundo ha puesto de manifiesto recientemente que los fenómenos de El Niño, que se dan en el Pacífico tropical, conllevan condiciones frías y secas en la Península Antártica y temperaturas más elevadas y mayores niveles de precipitación sobre la región costera sur del Mar de Amundsen frente a la Antártida Occidental (SCAR, 2004).

2.10 ISLAS SHETLAND DEL SUR – ANTÁRTIDA

Las islas Shetland del Sur son un archipiélago conformadas por 11 islas del océano Glacial Antártico (Antártida marítima) situado a unos 120 km de distancia de las costas

¹⁷ The Scientific Committee on Antarctic Research

de la Península Antártica, al sur del continente americano, entre el paso Drake por el norte y el estrecho de Bransfield por el sur. Comprenden un total de 3687 km². El punto más alto es el monte Irving, con 2300 msnm localizado en la isla Clarence (INACH, 2006). Entre las Islas mas importantes se encuentran:

Isla Rey Jorge: es la isla más grande de todo el archipiélago, cuenta una superficie de 1150 km² con una longitud de 95 km y una anchura máxima de 25 km. Cuenta con 3 grandes bahías: bahía Fildes (Maxwell o Guardia Nacional), bahía Almirantazgo (o Lasserre) y bahía Rey Jorge (o 25 de Mayo). Más del 90% de la superficie es hielo y su altura máxima alcanza los 655 m (INACH, 2006).

Isla Robert: es una isla pequeña de todo el archipiélago, El estrecho Inglés por el oeste la separa de la isla Greenwich y el estrecho Nelson por el este la separa de la isla Nelson. Mide 18 km de noroeste a sureste y 13 km de noreste a suroeste, se encuentra casi completamente cubierta de hielo permanente y sus costas son acantiladas. Destacan en el litoral la punta Newell al norte, punta Labbé al noreste, punta Robert al sureste, punta Prat al sur, bahía Carlota, península Coppermine (desprovista de hielo permanente) y bahía Clothier al oeste (INACH, 2006).

2.10.1 Clima

Las Islas Shetland del Sur, presentan un clima marítimo. Estos sectores están incluidos en la zona denominada Antártida marítima, que es notoriamente más húmeda que la zona continental y cuyas temperaturas medias anuales oscilan entre -10 °C y -20 °C . En verano las costas de estas áreas son muy propicias para el establecimiento y la reproducción de fauna marina (aves y mamíferos) ya que las temperaturas medias estivales rondan los 0°C (INACH, 2006).

2.10.2 Precipitación

La precipitación es escasa, no estacional y cae mayoritariamente en forma de nieve. La zona de la Península e Islas Shetland del Sur, es la más húmeda, en tanto que en la costas suelen precipitar (lluvia y nieve) entre 300 y 500 mm al año. En general, la precipitación media anual para toda la Antártida es de 100 mm principalmente en forma

de nieve, con un equivalente de agua de apenas 30 mm. Lo anterior justifica que se considere a este continente como uno de los desiertos más secos del planeta. Asimismo la zona del Mar de Ross es la más seca de todo el Continente Antártico, la humedad del aire se mantiene una media superior al 80% (INACH, 2006).

2.10.3 Geología

La historia geológica de las Islas Shetland del Sur y el resto del continente está definida por la evolución del supercontinente Gondwana. Dicho supercontinente comenzó a formarse a fines del Precámbrico, hace 180 millones de años y terminó de desintegrarse hace tan sólo unos 20 millones. Por ello, gran parte de la historia geológica antártica está emparentada con las regiones que compartía la superficie del Gondwana (Sánchez, 2007).

2.10.4 Suelo

Los suelos de las Islas Shetland del sur y de la Península Antártica se clasifican como suelos secos de desierto polar, se pueden encontrar en varios valles en desglaciación (sin hielo) u oasis en el interior del continente. El subsuelo es rico en depósitos minerales: carbón, petróleo, cobre, cromo, plata, platino, etc ¹⁸. Se ha descubierto carbón en depósitos comercialmente atractivos, pero no se sabe de la existencia de ningún mineral en cantidades potencialmente útiles. Se cree que existen grandes cantidades de depósito de gas y petróleo en la plataforma continental antártica (DNA, 2009) ¹⁹

2.10.5 Demografía

La actividad humana en las Islas Shetland del sur es restringida geográficamente. En la región sólo habitan investigadores y personal militar, debido que únicamente se

¹⁸ El Tratado Antártico prohíbe la explotación de los recursos: minerales: carbón, petróleo, cobre, cromo, plata, platino, etc. Pues es destinada únicamente para la investigación científica y la paz (DNA, 2009).

¹⁹ Dirección Nacional del Antártico.

desarrollan actividades asociadas a la ciencia y su logística de apoyo. Ocasionalmente en las Islas se llevan a cabo actividades de turismo, pesca, siendo éstas dos últimas las únicas actividades de carácter comercial en la región (Sánchez, 2007).

En el aspecto turístico, las Islas Shetland del Sur se ha caracterizado por el incremento significativo de la presencia humana, pasando de unos 7,000 visitantes a principios de los años 90 a unos 40,000 en la temporada 2007-2008, la más activa, según datos de la Asociación Internacional de Tour Operadores Antárticos (siglas en inglés IAATO) (Díaz, 2011). El aumento de la actividad humana podría ser la causa de la introducción de especies vegetales exóticas que están causando un desequilibrio en las cadenas tróficas de la región (Scasso, 2004).

2.10.6 Vegetación de las Islas Shetland del Sur – Antártida

En las Islas Shetland del Sur sólo existen formas primitivas de vida vegetal: más de 90 especies de musgos, algas, más de 350 especies de líquenes, 18 especies de hongos y 2 especies vasculares de vegetación (Base Antártica del Perú, s.f). En cuanto a las dos únicas plantas vasculares que viven en esta zona (*Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*), ya se ha detectado un importante incremento tanto en número de individuos, como en la extensión de sus poblaciones (Ovstedal *et al.* 2001). Nuevas colonias están apareciendo en varias localidades de la región. Esta situación claramente expansiva es hasta ahora la respuesta más evidente de los ecosistemas terrestres de la Antártida marítima al calentamiento global. Ahora la cuestión es cuándo comenzarán a instalarse otras especies, cuyas semillas son relativamente frecuentes en suelo y turberas antárticas, pero que hasta ahora han sido incapaces de germinar (Ovstedal *et al.* 2001).

2.10.7 Cambio Climático en las Islas Shetland del Sur – Antártida.

Los crecientes niveles de CO₂ pueden acelerar el cambio climático, pudiendo provocar la desintegración de las plataformas de hielo y sus casquetes de hielo asociados y por consiguiente aumento del nivel marino (SCAR, 2004). El calentamiento en el sector occidental de la Península Antártica está afectando el ecosistema e influye en la diversidad biológica. Muchas especies antárticas son susceptibles a estos cambios,

especialmente las costeras. El estudio de estos ecosistemas cambiantes contribuyen a entender mejor los procesos evolutivos de la vida en el planeta (SCAR, 2004). Cada especie vegetal y animal de la región reacciona de una forma diferenciada, lo que hace imposible las generalizaciones. La Antártida marítima está sufriendo de lleno las consecuencias del cambio global con una tasa de calentamiento de la atmósfera de 0.2-0.4°C por década (Ovstedal *et al.* 2001).

El efecto más llamativo del calentamiento global en las Islas Shetland del Sur es el retroceso de los frentes glaciares. Pequeñas morrenas y considerables extensiones de suelo y roca están quedando al descubierto, disponibles para la colonización vegetal. En estos auténticos laboratorios naturales es posible seguir con precisión todo el proceso de colonización e incluso medir la velocidad de crecimiento de las especies vegetales pioneras. Los datos sobre su tasa anual de crecimiento en la Antártida pueden compararse con los procedentes de otras localidades del mundo. Este activo crecimiento incluso se ha acelerado en algunas especies durante la última década, cuando mayor ha sido el aumento de la temperatura (Sancho *et al.* 2004).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Desde una perspectiva biogeográfica, la mayoría de los ecosistemas del mundo se han transformado de forma significativa y drástica. Estos cambios han ocurrido debido a fluctuaciones en las condiciones climáticas por diversos factores: Interacciones entre la atmósfera, biósfera, criósfera, erupciones volcánicas, terremotos, incendios forestales, cambio del uso de la tierra, etc (Hebel, 2008).

Es evidente que algunas especies se adaptan a nuevas condiciones climáticas permaneciendo en el mismo lugar a través del tiempo, mientras que otras especies pueden distribuirse a otras altitudes o extinguirse. Debido a esto, la composición de la comunidad vegetal se impone a una reorganización (Hawkins *et al.* 2008).

Una de las mayores preocupaciones de esta reorganización de comunidades vegetales es la alteración de las cadenas alimentarias y relaciones entre planta - polinizador. Si las especies que dependen la una de la otra ya no ocurren simultáneamente en el mismo tiempo y espacio, puede ser impulsada a su extinción, produciendo enfermedades y plagas. Pueden propagarse a nuevos niveles poniendo más presión sobre las comunidades frágiles (Hawkins *et al.* 2008).

De acuerdo con Torres *et al.* (2011), en las Islas Shetland del Sur y en la Península Antártica se ha visto la modificación de la distribución de *Deschampsia antarctica* (pasto antártico), se han visto colonias del pasto en lugares en donde nunca se había reportado presencia de las mismas, ello a causa de cambios atribuibles a factores ambientales. En los ecosistemas guatemaltecos se ha notado la pérdida de diversidad biológica, entre ellos la vegetación. Estos cambios han sido atribuibles por impactos del exceso de precipitaciones pluviales y episodios de sequía (COPREDEH, 2008) ²⁰.

²⁰ Comisión Presidencial Coordinadora de la Política del Ejecutivo en materia de Derechos Humanos

En la Sierra de los Cuchumatanes, en el año 2012 pobladores manifestaron su preocupación ante el cambio climático, debido a que han tenido pérdidas de cultivos, por heladas, lluvias y sequías (Prensa Libre, 2012).

Se ha demostrado que las recientes tendencias climáticas ya están afectando la fisiología, morfología y fenología en la vegetación (Hughes, 2000). Un cambio gradual en el clima puede afectar la composición, abundancia y distribución de las comunidades alterando la función de los ecosistemas (IARNA, 2009).

Ante este contexto, surge la necesidad de investigar las recientes tendencias del cambio climático, y de cómo éste puede afectar de manera irreversible, tanto en la vegetación de la Sierra de los Cuchumatanes como de la Antártida. Para ello se utilizará la metodología de Cumes (1995) para evaluar la vegetación de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y Torres *et al.* (2011) para evaluar la vegetación de la Antártida. Asimismo es necesario evaluar el efecto del cambio climático a distintas latitudes, debido a que al elevarse la temperatura a escala global la adaptación de estas comunidades vegetales puede ser alterada, lo que daría paso a una alteración en los ecosistemas.

3.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes, es una de las regiones andinas mejor representada en la república de Guatemala. Dentro de esta zona existe un alto endemismo local. De acuerdo con Véliz (2000), existe alrededor de 62 especies propias del área (18.61%). El estrato herbáceo es el más diverso y frecuente, ya que cuenta con 226 especies. La Antártida no es un continente aislado del resto del planeta. Se ha demostrado que contribuye en la oxigenación de los océanos y la regulación de la temperatura (SCAR, 2008). En la Antártida, se encuentra la reserva de agua dulce más grande del planeta, albergando más del 90% del agua total disponible.

En las Islas Shetland del Sur y en la Península Antártica se encuentran las únicas dos especies vegetales vasculares (*Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*) endémicas de la región. A estas especies se les ha establecido un alto potencial para su uso biotecnológico y genético (Hebel, 2008). Y el deshielo está abriendo nuevos territorios para su colonización.

Tanto en la Antártida como en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes, se están experimentando tendencias de aumento de temperatura (Hansen *et al.* 1999; Turner *et al.* 2009; Prensa Libre, 2012). Únicamente el deshielo en la Península Antártida podría producir la inundación de las costas del pacífico de Guatemala, así como la inundación de las tierras bajas de El Petén²¹.

Entre las similitudes de estos dos ecosistemas se pueden mencionar dos factores que influyen directamente en la existencia de la vegetación vascular herbácea: Disponibilidad de agua y temperatura. Paradójicamente, en algunas partes de la Antártida, ambos factores están aumentando rápidamente en escalas de tiempo actuales (Torres *et al.* 2011), mientras que en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes está disminuyendo la disponibilidad de agua y aumentado la temperatura.

Se ha decidido trabajar con la vegetación de esas dos zonas, porque ambas poseen un alto valor endémico y un similar hábito rastrero y además tienen factores limitantes en común que influyen la vida vegetal. Y al encontrarse estos alterados, producto del cambio climático, puede evidenciarse cambios en la composición, abundancia y distribución de las comunidades vegetales.

Es necesario investigar los cambios en las comunidades vegetales, para comprender las variaciones que se han dado en nuestro país y en la Antártida, ya que estas pueden

²¹ Predicciones observacionales de acuerdo a las alturas máximas sobre el nivel del mar de los departamentos del país.

afectar de una manera directa e irreversible los dos ecosistemas. En ambas regiones de estudio los cambios en la vegetación han sido poco estudiados, posiblemente por falta de recursos y/o falta de interés humano. Esta investigación, es la primera que pretende comparar los cambios en los patrones de la vegetación relacionados al cambio climático a distintas latitudes.

En la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes existe un ecosistema único y su pérdida podría afectar económicamente a las poblaciones de Chiantla, San Juan Ixcoy y Huehuetenango, así como el turismo del país. La información generada será muy útil para la toma de decisiones en cuanto a la formulación y gestión de proyecto para instituciones que laboran en la Sierra de los Cuchumatanes. Asimismo los resultados de este estudio, pueden contribuir a la comunidad científica que investiga las regiones Antárticas, para una mejor comprensión de las variaciones en la vegetación por cambios climáticos. También se pretende que la sociedad civil tome conciencia de sus acciones y de la importancia de contribuir a mitigar el cambio climático, debido a que éste afecta de manera directa e indirecta las comunidades vegetales de ambas regiones, importantes en los ciclos de los ecosistemas terrestres.

IV OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el cambio en la composición, abundancia y distribución de la vegetación vascular herbácea de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) y evaluar el posible efecto del cambio climático.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la composición, abundancia y distribución de la vegetación vascular herbácea en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).
- Evaluar el cambio en la composición abundancia y distribución de la vegetación vascular herbácea en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).
- Analizar el cambio en el clima (temperatura y precipitación/disponibilidad de agua) de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).
- Identificar la posible relación entre de cambio de la vegetación vascular herbácea con el cambio en el clima de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).

V. METODOLOGÍA

5.1 AMBIENTE

El área de estudio se situó en dos regiones:

La primera se encuentra ubicada en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes, abarcando principalmente el municipio de Todos Santos Cuchumatán, San Juan Ixcoy y Chiantla, todos del departamento de Huehuetenango ²². Las áreas se encuentran dentro de las coordenadas geográficas: Todos Santos Cuchumatán: latitud 15°27'59" y longitud 91°37'43". San Juan Ixcoy: latitud 15°30'00" y longitud 91°18'47" (Cumes, 1995).

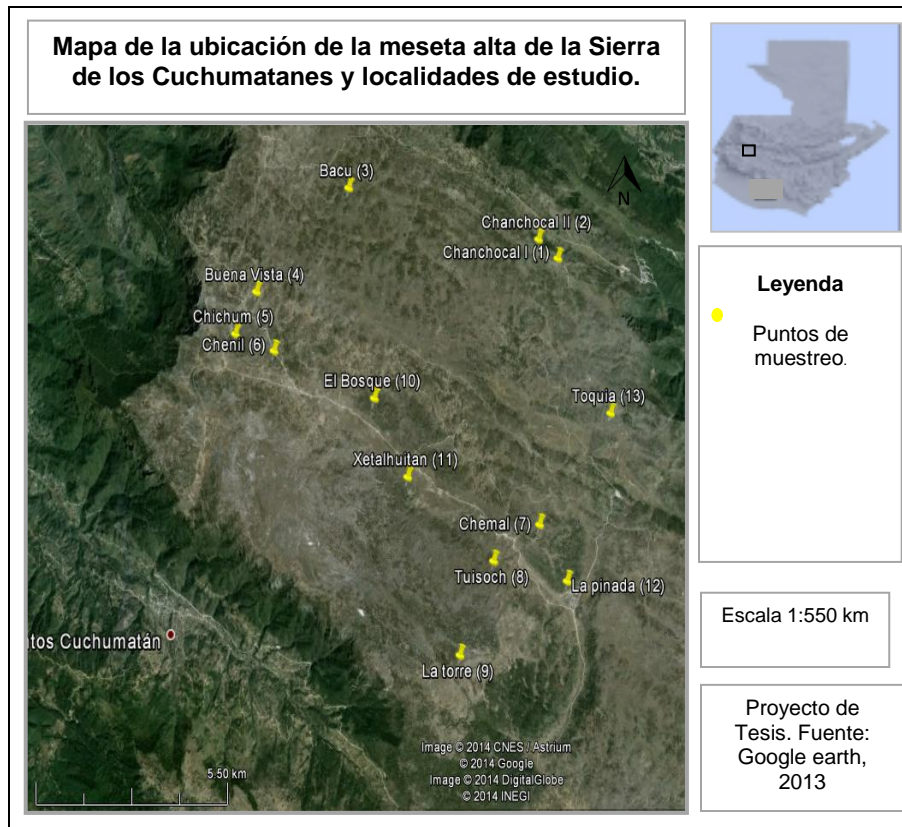


Figura 7. Ubicación de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y puntos de muestreo (Cumes, 1995) adaptado por Molina (2014).

²² Los municipios se encuentran a aproximadamente 300 km de la ciudad capital.

La segunda zona de estudio se encuentra ubicada en las Islas Shetland del Sur - (Antártida)²³. Las áreas se encuentran dentro de las coordenadas geográficas: Isla Rey Jorge: 62⁰⁰' S y 58¹⁵' W e Isla Robert: 62⁰²⁴' S y 59³⁰' W (Torres *et al.* 2011).

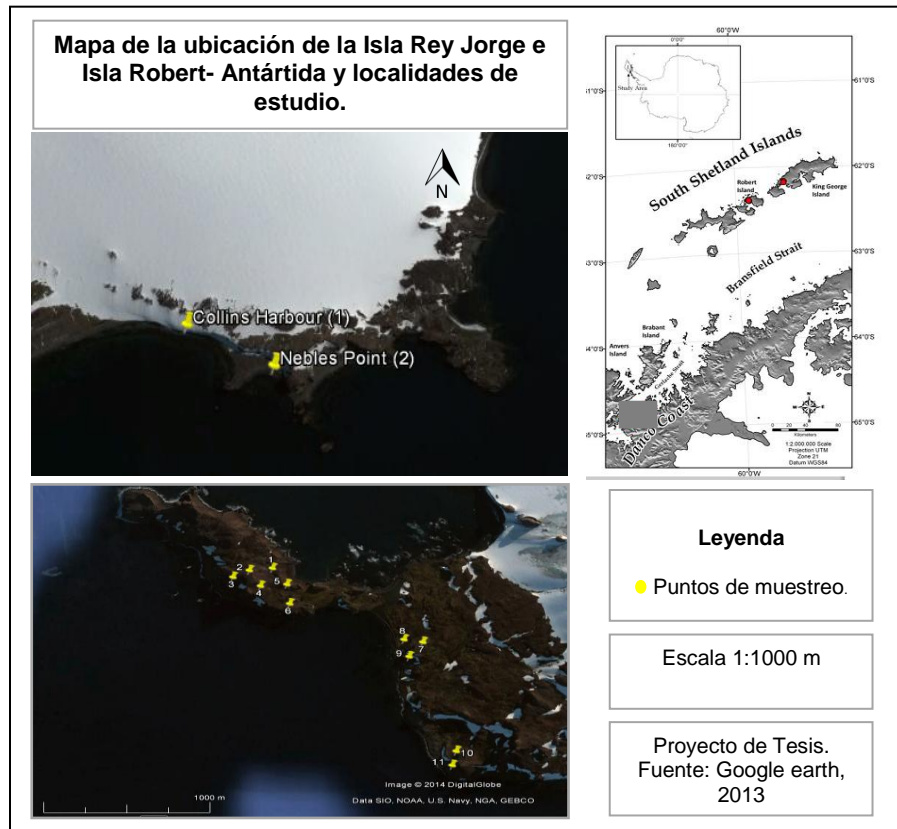


Figura 8. Ubicación de las Islas Shetland del sur y puntos de muestreo, Torres *et al.* (2011) adaptado por Molina (2014).

²³ El área de estudio se encuentra a aproximadamente 10000 km de la ciudad capital (línea recta).

5.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

El principal sujeto a analizar fue la vegetación vascular herbácea de la meseta alta de Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).

5.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo descriptiva, tuvo como objetivo conocer en primera instancia el cambio en la vegetación vascular herbácea de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) y posibles relaciones con el cambio en el clima.

Se utilizó información documental de estudios ya existentes, y se generó nueva información a través de giras de campo a las áreas de estudio, para poder realizar una comparación y un nuevo inventario de plantas presentes en dichas áreas. El trabajo de campo y laboratorio fue apoyado por el Herbario USCG del Centro de Estudios Conservacionistas-CECON - de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

5.4 INSTRUMENTOS

Para la fase documental se utilizaron dos investigaciones previas, cuyo objetivo fue similar al de ésta investigación, únicamente en tiempos distintos. La primera es de Cumes (1995), la cual se utilizó para realizar la fase de campo de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y la segunda de Torres *et al.* (2011), para la fase de campo de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).

Para el análisis del clima se utilizaron series de datos de temperatura y precipitación de las áreas de estudio, meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes – INSIVUMEH ²⁴ y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) – READER.²⁵ Para la elaboración de las graficas se utilizó la herramienta de Microsoft Office – Excel.

²⁴ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

²⁵ REference Antarctic Data for Environmental Research

Para las fases de campo que consistieron en el análisis de la vegetación vascular herbácea, se utilizó una parcela de 1 m² que se fabricó con tubo PVC y se ensambló con goma especial para tubos PVC (Figura 10). Dentro de la parcela se hicieron divisiones verticales y horizontales de 25 cm de distancia con hilo de pescar, ello para facilitar la identificación de especies y determinar la cobertura ²⁶.



Figura 9. Forma de muestrear la vegetación por medio de una parcela de 1 m² (Escuela de Ecología San José, 2010).

Se utilizó una hoja de trabajo para el campo en la cual se anotaron los resultados del levantamiento de plantas (Anexo 1) y posterior a ello, se usó la guía de identificación taxonómica de vegetación “Flora of Guatemala” para la determinación de las especies vegetales y resguardo en el Herbario.

²⁶ Una parcela es una técnica de observación y recogida de datos, consiste en un registro de las especies que cubren o tocan la línea de la parcela. Deben acompañarse de algunos datos ambientales (lanika, 2014)

5.5 PROCEDIMIENTO

5.5.1 Consulta Documental

Esta fase consistió en la recopilación documental de entidades relacionadas con el tema de análisis de vegetación y el clima como: el CECON ²⁷, INSIVUMEH y el INACH.

Para la recopilación de información específica sobre el análisis e interpretación de la vegetación herbácea, se recurrieron a los resultados de la investigación realizada por Cumes (1995) en donde describió la composición, abundancia y distribución de la vegetación herbácea de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes. Asimismo se utilizaron los resultados de la investigación realizada por Torres *et al.* (2011), en el verano austral antártico del año 2009, en donde describió la composición, abundancia y distribución de la vegetación herbácea de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert). Ello con el objetivo de tener información sobre las variables mencionadas y poder así analizar cambios en tiempo presente.

El análisis del cambio en el clima se realizó mediante series de datos numéricos de las regiones de estudio. Para el caso de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes se analizaron datos de temperatura y precipitación de 1971 al 2012, tomando promedios anuales de la Estación Meteorológica “Todos Santos” del INSIVUMEH, ubicada en la región de estudio. Luego se prosiguió a graficar e interpretar los datos climáticos para analizar el comportamiento del clima a través del tiempo.

Para el caso de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) se evaluaron series de temperatura de 1969 al 2013, tomando promedios anuales de la base de datos, Reference Antarctic Data for Environmental Research - READER (Estación Meteorológica de la Base Rusa Bellingshausen / ID 89050). Luego se prosiguió a graficar e interpretar los datos climáticos para analizar el comportamiento del clima a través del tiempo.

²⁷ Centro de Estudio Conservacionistas.

5.5.2 Fase de Campo

La fase campo consistió en la generación de nuevos datos a partir del análisis de la vegetación vascular herbácea de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y de la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert). Para ello se visitaron las mismas localidades de Cumes (1995) y Torres *et al.* (2011). Para el caso de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes se colocaron 13 parcelas de 1m² mediante el sistema preferencial aleatorio, conforme las coordenadas geográficas establecidas por el autor. De igual manera en el caso de la Antártida se colocaron 13 parcelas de 1m² mediante el sistema preferencial aleatorio, conforme las coordenadas geográficas establecidas por la autora. Se recolectaron muestras de la vegetación ²⁸ y fueron procesadas e identificadas en el Herbario USCG y para almacenarlas en ese mismo Herbario.

Con la utilización de la parcela y la información generada en el Herbario se determinaron las siguientes variables:

- Composición
Es el conjunto de especies que integran una comunidad vegetal

- Cobertura
Es la proporción de terreno ocupado por una especie considerada.

- Frecuencia
Es la probabilidad de encontrar una especie una unidad muestral.

- Distribución
Es el patrón de dispersión que tiene una especie dentro de una región.

²⁸. Se recolectaron dos muestras de cada especie vegetal de la meseta alta de la Sierra del Cuchumatanes las cuales fueron almacenadas en el Herbario USCG, no obstante no se recolectaron muestras de las especies vegetales de la Antártida debido a que no fue permitido por protocolos.

- Índices de Shannon-Wiener y Simpson
Determinan la diversidad de especies de un determinado hábitat.
- Índice de Bray Curtis
Permite comparar la similitud o disimilitud de dos comunidades vegetales.
- Wilcoxon Test
Determina si existen diferencias significativas entre comunidades vegetales.

5.6 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información se analizó de manera comparativa, evaluando los cambios en las variables mencionadas anteriormente para cada localidad. El cambio en la composición de la vegetación se evaluó mediante la prueba de Wilcoxon comparando la diferencia de la misma área de estudio en distintos años. El cambio de abundancia se evaluó mediante promedios totales comparando la misma área de estudio en distintos años y el cambio en la distribución se analizó mediante las alturas y frecuencias acumuladas – FR% comparando la misma área de estudio en distintos años.

Una vez comparadas las variables del cambio en la vegetación se analizaron conjuntamente con las gráficas del clima realizadas para cada área de estudio para poder atribuir posibles efectos del cambio climático sobre dicha vegetación.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 MESETA ALTA DE LA SIERRA DE LOS CUCHUMATANES

Las localidades evaluadas no presentaron un nivel significativo de intervención humana, por observaciones y acercamientos con comunitarios de las localidades, indicaron que no han existido construcciones, ni cultivos y en muy raras ocasiones ganados de tipo ovino. Por lo que se pueden tomar estos resultados como una aproximación de las presentes tendencias del cambio en las comunidades vegetales y sus posibles relaciones con el cambio climático.

Cuadro 1. Composición vegetal de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes reportadas para el año 1995.

Familia	Especies	Localidades													Hábito	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Apiaceae	<i>Oreomyrrhis daucifolia</i>			x	x		x									Herbácea
Asteraceae	<i>Cirsium</i> sp.													x		Herbácea
Asteraceae	<i>Gnaphalium standleyi</i>						x									Herbácea
Asteraceae	<i>Helenium integrifolium</i>						x				x	x				Herbácea
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	x		x	x		x			x	x	x		x		Herbácea
Ericaceae	<i>Arctostaphylos cratericola</i>	x														Herbácea
Ericaceae	<i>Arctostaphylos</i> sp		x	x												Herbácea
Fabaceae	<i>Lupinus montanus</i>					x										Herbácea
Gentianaceae	<i>Gentiana guatemalensis</i>	x		x	x	x								x		Herbácea
Gentianaceae	<i>Helenia alata</i>			x	x		x					x				Herbácea
Plantaginaceae	<i>Plantago linearis</i>									x				x		Herbácea
Poaceae	<i>Agrostis exserta</i>	x	x		x		x									Herbácea
Poaceae	<i>Festuca willdinoviana</i>			x	x	x	x			x						Herbácea
Poaceae	<i>Muehlenbergia nigra</i>			x			x	x		x				x		Herbácea
Ranunculaceae	<i>Ranunculus peruvianus</i>		x	x	x											Herbácea
Rosaceae	<i>Alchemilla vulcanica</i>											x				Herbácea
Rosaceae	<i>Potentilla heterosepala</i>				x											Herbácea
Valerianaceae	<i>Valeriana prionophylla</i>						x									Herbácea
Total		4	3	8	8	3	9	1	0	4	2	4	0	5		

Fuente: Cumes (1995), adaptado por Molina (2014).

1: Chanchocal I, 2: Chanchocal II, 3: Bacú, 4: Buena Vista, 5: Chichun, 6: Chenil, 7: Chemal, 8: Tuisoch, 9: La Torre, 10: El Bosque, 11: Xetalhitán, 12: La Pinada, 13: Toquía

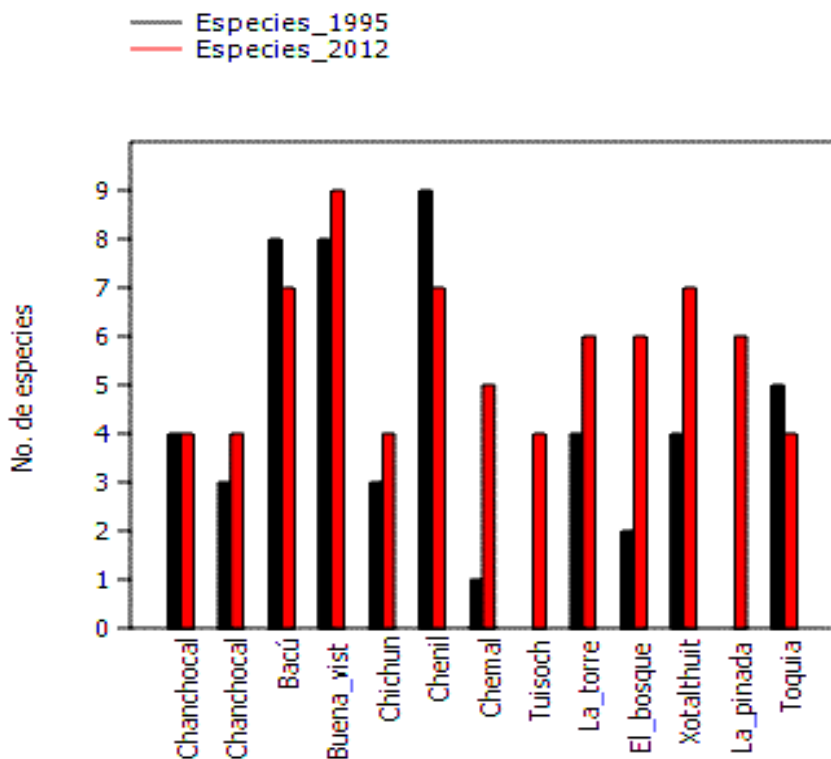


Figura 10. Especies reportadas para el período de 1995 - 2012 por localidades de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes. Elaboración propia, 2013 (Fuente: PAST).

En el año de 1995, Cumes reportó 18 especies vegetales distribuidas en 10 familias (Ver cuadro 1). Las localidades que más diversidad de especies presentaron fue Chenil con 9 especies, Bacú y Buena Vista con 8 especies cada una. Sin embargo, la composición de especies fue bastante similar entre localidades debido a las características de suelo que se comparten. Las localidades con dominancia de Pinabete y Huito (Tuisoch y La Pinada), no presentaron presencia de especies herbáceas. Probablemente esto se debe a las condiciones de pendiente pronunciada, poco suelo y roca expuesta o a las condiciones de micro-sitio por alta humedad relativa y poca exposición solar. Para dicho período se recolectaron 51 especímenes incluyendo todas las localidades muestreadas debido a que en algunos casos una misma especie se reportó en varias localidades (ver Figura 10, barras negras).

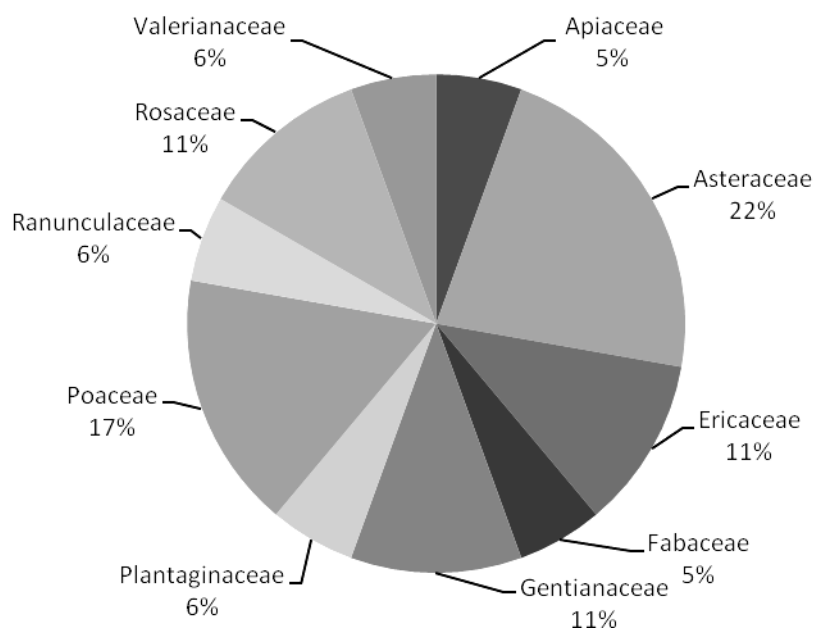


Figura 11. Proporciones de familias presentes dentro de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 1995. (Elaboración propia, 2013).

En el año 1995 se reportaron 10 familias, siendo las Asteraceae la que presentó mayor número de especies (22%), mientras que las familias Apiaceae y Fabaceae fueron los grupos que presentaron menor número de especies (5%). Estos resultados concuerdan con lo que reportó Véliz (2000), pues la Asteraceae es la familia que más especies reporta dentro de la región de estudio debido a que son especies más comunes y mejor adaptadas al terreno (ver Figura11) lo que demuestra que es la familia con mayor predominancia en la región de estudio.

Cuadro 2. Composición vegetal de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes reportada para el verano del año 2012.

Familia	Especie	Localidades													Habito
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Apiaceae	<i>Oreomyrrhis daucifolia</i>				x									x	Herbácea
Asteraceae	<i>Ageratina</i> sp		x												Herbácea
Asteraceae	<i>Artemisia</i> sp						x		x	x					Herbácea
Asteraceae	<i>Cirsium</i> sp				x	x				x	x	x	x		Herbácea
Asteraceae	<i>Conyza filaginoides</i>							x				x			Herbácea
Asteraceae	<i>Conyza sophiifolia</i>					x	x	x							Herbácea
Asteraceae	<i>Gnaphalium greenmanii</i>									x					Herbácea
Asteraceae	<i>Gnaphalium standleyi</i>			x											Herbácea
Asteraceae	<i>Helenium integrifolium</i>				x		x		x				x		Herbácea
Asteraceae	<i>Senecio warszewiczii</i>				x	x									Herbácea
Asteraceae	<i>Stevia incognita</i>		x		x										Herbácea
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	x											x		Herbácea
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>			x			x			x	x	x			Herbácea
Cyperaceae	<i>Cyperaceae 1</i>											x			Herbácea
Fabaceae	<i>Medicago</i> sp	x													Herbácea
Gentianaceae	<i>Gentiana pumilio</i>						x	x			x				Herbácea
Gentianaceae	<i>Halenia alata</i>										x				Herbácea
Geraniaceae	<i>Geranium</i> sp 1	x		x				x	x			x	x	x	Herbácea
Geraniaceae	<i>Geranium alpicola</i>				x		x				x				Herbácea
Plantaginaceae	<i>Penstemon gentianoides</i>			x											Herbácea
Poaceae	<i>Poaceae 1</i>	x			x			x							Herbácea
Poaceae	<i>Poaceae 2</i>			x											Herbácea
Poaceae	<i>Piptochaetium virescens</i>		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	Herbácea
Rosaceae	<i>Alchemilla vulcanica</i>		x	x								x	x		Herbácea
Rosaceae	<i>Lachemilla pinnata</i>				x					x					Herbácea
Lamiaceae	<i>Salvia</i> sp													x	Herbácea
	Total	4	4	7	9	4	7	5	4	6	6	7	6	4	

Elaboración propia, 2013

1: Chanchocal I, 2: Chanchocal II, 3: Bacú, 4: Buena Vista, 5: Chichun, 6: Chenil, 7: Chermal, 8: Tuisoch, 9: La Torre, 10: El Bosque, 11: Xetalhitán, 12: La Pinada, 13: Toquía

Para el año 2012, se reportaron 26 especies vegetales distribuidas en 10 familias (ver Cuadro 2) Las localidades que más diversidad de especies presentaron fue: Buena Vista con 9 especies reportadas, Bacú ,Chenil y Xetalhuitán con 7 especies reportadas. Por otro lado las localidades que menor diversidad presentaron fue: Chanchocal I, Chanchocal II, Chichun, Tuisoch y Toquía con 4 especies reportadas. Para dicho período se recolectaron 73 especímenes incluyendo todas las localidades debido a que en algunos casos una misma especie se localizo en varias localidades (ver Figura 10, barras rojas).

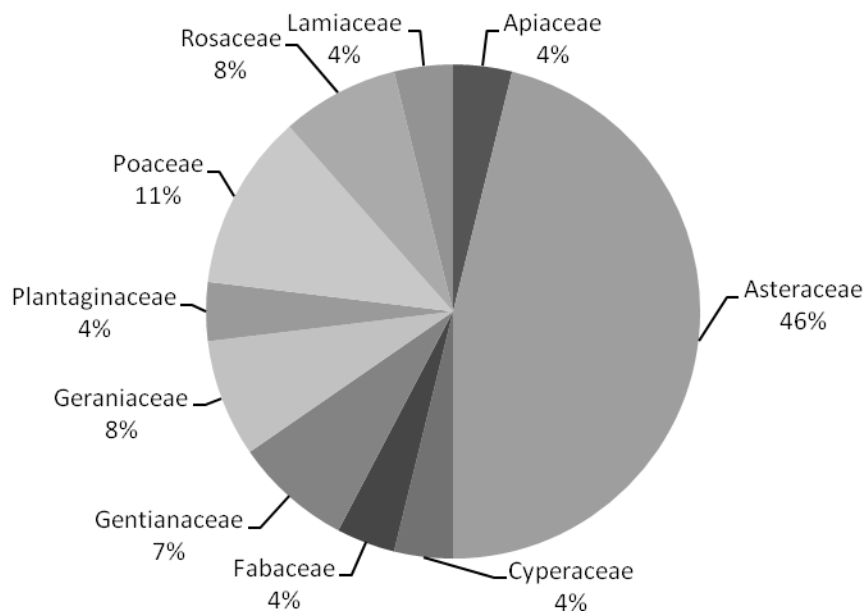


Figura 12. Proporciones de familias presentes dentro de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 2012. (Elaboración propia, 2013).

En el año 2012 se reportaron 10 familias, siendo las Asteraceae la que presento mayor número de especies (46%), seguido por las familias Apiaceae, Lamiaceae, Plantaginaceae, Fabaceae y Cyperaceae (4% para cada una) (ver Figura 12) Estos resultados demuestran que las Asteraceae son las especies más comunes pues tienen rango de distribución muy amplio lo que indica que es una de las familias con mayor adaptabilidad y tolerancia a la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes.

Los cambios en las comunidades vegetales han estado relacionados por fluctuaciones en el clima (aumento de la temperatura y disminución de la precipitación). Por lo tanto, la permanencia de una especie dependerá de la velocidad de adaptación al nuevo hábitat y la rapidez con que ocurran los cambios del clima.

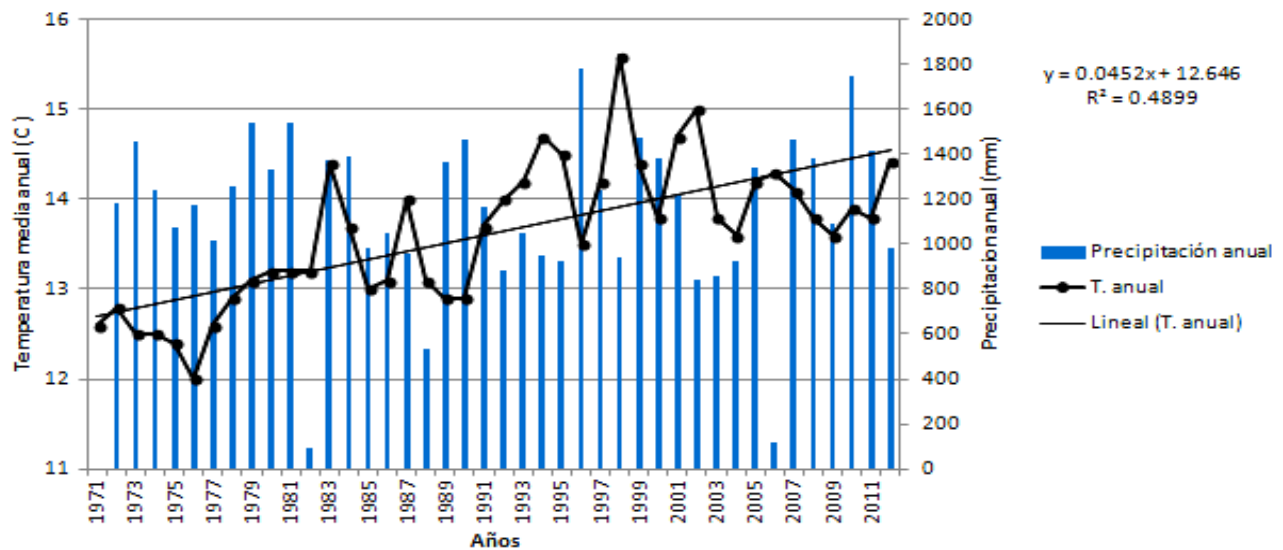


Figura 13. Cambios en la temperatura media anual y precipitación anual de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes en un período de tiempo de de 41 años. Elaboración propia, 2013 (Fuente, Estación Meteorológica “Todos Santos” - INSIVUMEH).

A lo largo de 41 años se ha observado un incremento de la temperatura en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes ($R^2 = 0.49$). En 1971 la temperatura promedio anual fue de (12.6°C) mientras que para el 2012 el promedio anual fue de (14.43°C) (ver Figura No. 13). Se ha estimado que la temperatura a aumentado ($+1.16^{\circ}\text{C}$) durante el periodo de 1992 - 2012 en comparación al periodo de 1971 - 1991, evidenciando un cambio acelerado en las condiciones climáticas de la Sierra de los Cuchumatanes. El año más caluroso fue en 1998, donde se tienen registros que hubo incidencia del fenómeno El Niño ²⁹ en las aguas del Pacífico (IPCC, 2001), pues la temperatura media anual ascendió hasta los (15.6°C), lo que ha sido un récord máximo en el historial climático de la región de estudio. En términos de precipitación,

en los últimos 20 años se ha reportado un promedio anual de (1143.30 mm), un dato menor a lo reportado antes de 1991 (1160.11 mm), lo que indica que el régimen de lluvias ha disminuido en un (1.47 %) éste cambio podría estar relacionado a las tasas de deforestación en la región, un factor añadido a los patrones de cambio climático, y por consecuencia ocasiona cambios en el ciclo hidrológico del ecosistema. Estas nuevas condiciones de clima en la Sierra de los Cuchumatanes puede estar asociado a los cambios en la distribución altitudinal de algunas especies, además de los cambios en la cobertura y frecuencia relativa de las especies reportados en este estudio (ver discusión abajo). Un reciente estudio ha demostrado que los bosques secos podrían llegar a ocupar el 40% del territorio nacional para el año 2050 pues se presentará severo déficit hídrico (IARNA, 2011), lo que supone que la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes se puede estar convirtiendo en un lugar árido y seco por el desequilibrio climático.

²⁹ El Niño, es una corriente de agua cálida que fluye periódicamente por la costa de Ecuador y Perú. Éste fenómeno oceánico se asocia a una fluctuación de pautas de presión intertropical en la superficie y una circulación en los Océanos Pacífico e Índico, llamada Oscilación Sur, o ENOA. Durante el fenómeno de El Niño, los vientos imperantes se debilitan y la contracorriente del ecuador se refuerza, lo que induce a que las aguas cálidas de la superficie en la zona de Indonesia fluyan hacia el Este para sobreponerse a las aguas frías de las corrientes de Perú. Este fenómeno tiene un gran impacto en los vientos, la temperatura de la superficie marina, y las pautas de precipitación del Pacífico tropical. Tiene efectos climáticos en toda la región del Pacífico y en muchas otras partes del mundo (IPCC, 2001).

Al comparar los datos de ambos períodos (1995 - 2012) únicamente siete especies de las cuarenta y cuatro especies en total han estado presente para ambos años: *Alchemilla vulcanica*, *Cirsium* sp., *Gnaphalium standleyi*, *Helenia alata*, *Helenium integrifolium*, *Oreomyrrhis daucifolia* y *Werneria nubigena*.

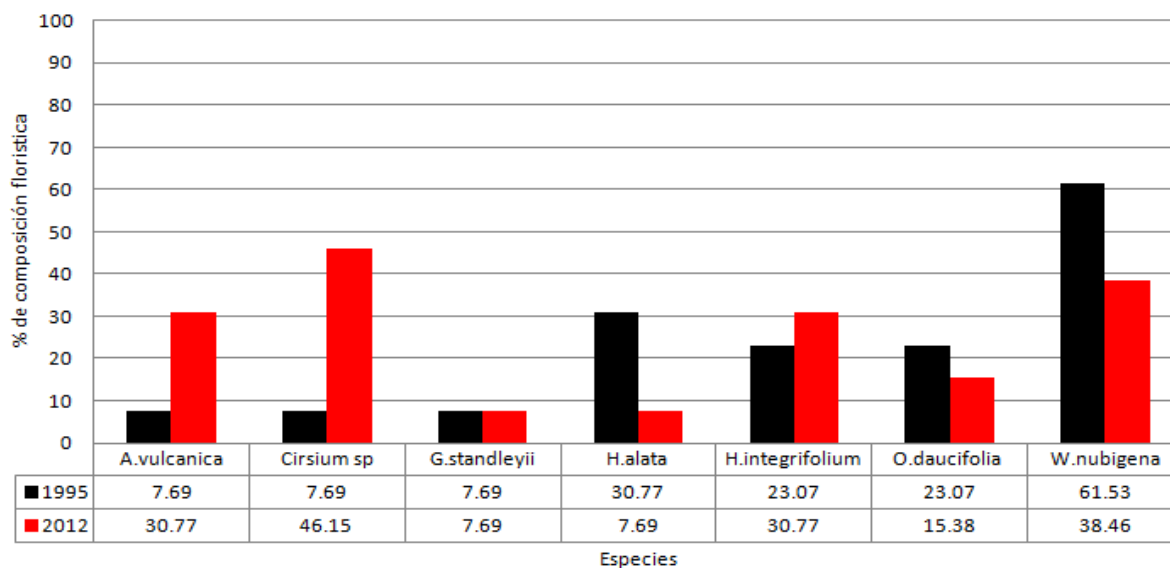


Figura 14. Ocurrencias de las especies vegetales dentro del área de estudio durante el período de tiempo 1995- 2012. (Elaboración propia, 2013).

De estas siete especies es posible hacer un análisis de su comportamiento a través de los años y su posible aclimatación frente a las cambiantes condiciones ambientales. Se pudo determinar un aumento en el número de ocurrencias de *A. vulcanica*, *Cirsium* sp y *H. integrifolium* frente al constante aumento de temperatura (+1.16 °C) y a la disminución de lluvias (1.47%), debido a que los períodos de floración, letargo, germinación, entre otras fases fenológicas están determinados por la cantidad de calor y humedad de la región (Gómez *et al.* 2007). Estas especies bio-indicadoras han demostrado su permanencia en la zona frente al cambio climático (ver Figura 14). Por otro lado algunas especies no se están adaptado de la misma manera a las cambiantes condiciones ambientales, por lo que su tolerancia y ocurrencia probablemente sea menor, es necesario realizar monitoreos a largo plazo para confirmar esta hipótesis y

determinar que las especies, *H. alata*, *O. daucifolia*, *W. nubigena* y *G. standleyi*, podrían estar teniendo un acoplamiento en su ciclo fenológico. Todos estos cambios que se están empezando a dar en la región podrían afectar las interacciones entre las especies, por ejemplo: entre las plantas y sus polinizadores o entre las plantas y sus herbívoros, alterando así la estructura de las comunidades. Por otro lado los comunitarios de la región de estudio ha manifestado su preocupación por el incremento de heladas y días muy calurosos en los últimos años, lo que puede ser esta la causa de disminución en la composición de éstas especies, inhibiendo las fases de ciclo reproductivo de dichas plantas.

Cuadro 3. Índices de diversidad vegetal para los dos períodos de tiempo (1995 – 2012) en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes.

Índices	Localidades	
	1995	2012
Shannon indx	2.25	2.53
Simpson indx	0.88	0.92
CORRELACION		
Media	4	6
Wilcoxon test	0.036	

Fuente: PAST, 2013 ³⁰.

Se determinaron índices de diversidad (Shannon y Simpson) promedios para las 13 localidades durante los dos períodos de tiempo (ver Cuadro 3). Para el año 1995 el índice de Shannon fue de 2.25 y el índice de Simpson fue de 0.88, mientras que para el año 2012 el índice de Shannon fue de 2.53 y el índice de Simpson fue de 0.92.

³⁰ Es un software libre para el análisis de datos científicos, análisis ecológicos, con funciones estadísticas, series de tiempo, análisis espacial, morfometría y estratigrafía.

Este análisis demostró que el 2012 fue más diverso ³¹ pues se reportaron ocho especies más (26 -18 = 8), estas especies son comunes y frecuentes además que poseen un amplio rango de distribución, sin embargo se identificó que *T. officinale* (Asteraceae), es una especie exótica (europea) que se ha establecido en la región, la cual ha servido como sustento para comunitarios pues sus hojas son comestibles y se le han atribuido numerosas propiedades medicinales. Pese a la variabilidad climática la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes aún muestra una significativa diversidad florística.

Se determinó con la prueba de Wilcoxon la correlación de composición de especies para ambos períodos, se determinó una diferencia significativa de ($p < 0.05$ / $p = 0.036$). La media para 1995 fue de (4) mientras que para 2012 fue de (6), lo que indica que en 17 años se ha evidenciado una tendencia significativa de cambio en la estructura de la comunidad de especies, el argumento anterior propone que es la dominancia, la competencia y la tolerancia de las especies lo que determinó que en 2012 las especies más adaptadas al terreno remplazaran a las especies menos dominantes reportadas en 1995 (a excepción de las siete especies que fueron reportadas para ambos períodos de tiempo).

³¹ El número de especies reportadas puede variar según el tiempo y esfuerzo invertido en la fase de campo.

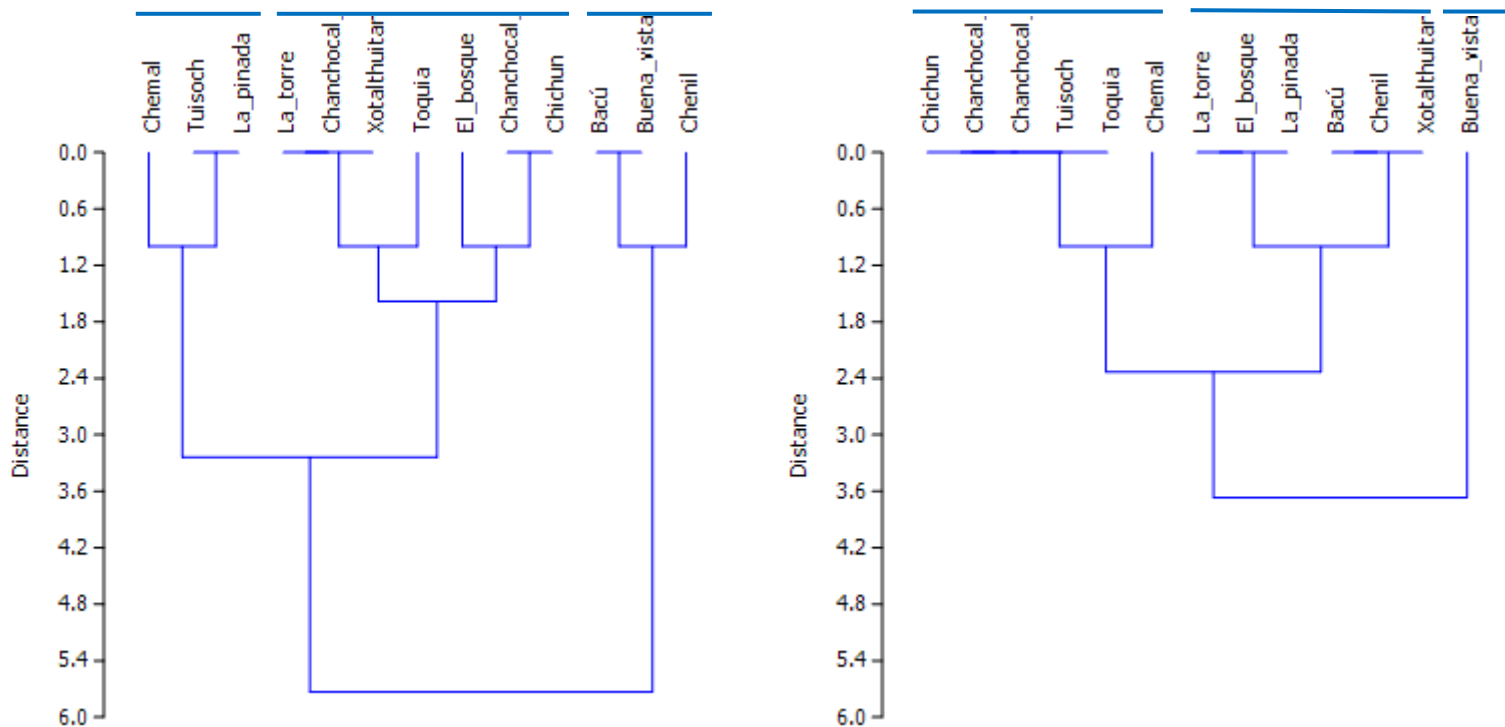


Figura 15. Análisis de agrupamiento basado en la similitud entre localidades utilizando el índice de Bray- Curtis para los dos períodos. Izquierda – 1995; Derecha – 2012. Fuente: PAST, 2013. * La similitud entre localidades varió desde cero (localidades completamente similares) hasta seis (localidades completamente diferentes).

Para el análisis de agrupamiento entre las localidades, fue utilizado en Índice de similitud Bray-Curtis (ver Figura15). El índice de similitud entre localidades varió de cero (localidades completamente similares) hasta seis (localidades completamente diferentes) con base en el número de especies que comparten. Para 1995 se observaron tres grupos con menor similitud pues el rango de distancia entre cada grupo vario entre (0 - 5.7): El primer grupo lo conformaron las localidades de: Chemal, Tuisoch y La Pinada pues el número de especies varió entre (0-1). El segundo grupo lo conformaron las localidades de: La Torre, Chanchocal I, Xotalhuitan, Toquía, El Bosque, Chanchocal II y Chichun debido a que el número de especies varió entre (2-5). Finalmente el tercer grupo lo conformaron las localidades de: Bacú, Buena Vista y

Chenil pues el número de especies varió entre (8-9), como se pudo observar los tres grupos presentaron diferentes números de especies pues dependieron del tipo de suelo. En el grupo uno y dos se sugiere que el suelo era rocoso y con una pendiente pronunciada mientras que en el grupo tres los suelos eran ricos en biomasa y con poca pendiente. En el año 2012 se obtuvieron tres grupos con mayor similitud pues el rango de distancia entre cada grupo fue menor (0 - 3.6) El primer grupo lo conformaron las localidades de: Chichun, Chanchocal I, Chanchocal II, Tuisoch, Toquía y Chemal debido a que el número de especies varió entre (4-5). El segundo grupo lo conformaron las localidades de: La Torre, El Bosque, La Pinada, Bacú, Chenil, Xotalhuitan pues el número de especies varió entre (6-7). Finalmente el tercer grupo lo conformaron la localidad de: Buena Vista pues el número de especies fue únicamente de (9). En ese año los suelos estuvieron formados con una biomasa más uniforme debido a que fue un período más húmedo por lo tanto las condiciones fueron mejores para que se desarrollaran más especies y por lo tanto la similitud entre el número de especies de las localidades fue mayor.

Cuadro 4. Cobertura y cambios en los patrones de Frecuencia Relativa de las especies para los períodos de 1995 – 2012.

Especie	Cobertura (%) 2012	Vegetación 1995 FR (%)	Vegetación 2012 FR (%)	Cambio en la Proporción vegetal de FR (%)
<i>Oreomyrrhis daucifolia</i> I.M. Johnston	10.77	6	3	0.47
<i>Ageratina</i> sp	3.08	NR	1	0
<i>Artemisia</i> sp	23.08	NR	4	0
<i>Cirsium</i> sp.	10.77	2	8	4.19
<i>Conyza filaginoides</i>	10.15	NR	3	0
<i>Conyza sophiifolia</i>	8.62	NR	4	0
<i>Gnaphalium greenmanii</i>	1.85	NR	1	0
<i>Gnaphalium standleyi</i>	0.92	2	1	0.7
<i>Helenium integrifolium</i> (HBK) Benth. & Hook. Ex Hemsl.	10.15	6	5	0.93
<i>Senecio warszewiczii</i>	0.62	NR	3	0
<i>Stevia incognita</i>	2.77	NR	3	0
<i>Taraxacum officinale</i>	4.62	NR	3	0
<i>Werneria nubigena</i> HBK	17.85	16	7	0.44
Cyperaceae 1	1.23	NR	1	0
<i>Arctostaphylos cratericola</i> Donn. Sm.	NR	2	NR	0
<i>Arctostaphylos</i> sp	NR	4	NR	0
<i>Lupinus montanus</i> HBK	NR	2	NR	0
<i>Medicago</i> sp	3.69	NR	1	0
<i>Gentiana guatemalensis</i> Standl	NR	10	NR	0
<i>Gentiana pumilio</i>	10.15	NR	4	0
<i>Halenia alata</i> (Mart. & Gal.) Hemsl.	1.85	8	1	0.17
<i>Geranium alpicola</i>	8.31	NR	4	0
<i>Geranium</i> sp 1	21.85	NR	10	0
<i>Salvia</i> sp	0.62	NR	1	0
<i>Penstemon gentianoides</i>	0.92	NR	1	0
<i>Plantago linearis</i> HBK	NR	4	NR	0
Poaceae 1	19.69	NR	4	0
Poaceae 2	0.92	NR	1	0
<i>Agrosis exserta</i> Swallen.	NR	8	NR	0
<i>Festuca willdinoviana</i> Schult	NR	10	NR	0
<i>Muehlenbergia nigra</i> Hitch.	NR	10	NR	0
<i>Piptochaetium virescens</i>	55.08	NR	15	0
<i>Ranunculus peruvianus</i> Pers	NR	6	NR	0
<i>Alchemilla vulcanica</i> Schit. & Cham.	12.31	2	5	2.8
<i>Lachemilla pinnata</i>	4.31	NR	3	0
<i>Potentilla heterosepala</i> Fritsch.	NR	2	NR	0
<i>Valeriana prionophylla</i> Standl.	NR	2	NR	0
Total	9.47	100	100	

Elaboración propia 2013. * NR = No se Reportó.

El cambio climático también puede afectar la abundancia y frecuencia de las especies vegetales. El aumento en la temperatura no solo afecta la productividad primaria neta de las especies vegetales, sino que induciría su sustitución por otras más resistentes, cambiando la cobertura y frecuencia de las especies presentes en la región. Para el año 2012, los registros estimaron que la cobertura promedio de la vegetación fue de 9.47%, siendo *Piptochaetium virescens* la especie con mayor cobertura (55.08%). Esta especie es la que mejor adaptada está al terreno, pues es un pasto muy abundante dentro de las localidades y sirve como recurso doméstico (para barreras vivas y/o cercos) para los comunitarios de la región. Por otro lado *Senecio warszewiczii* y *Salvia* sp fueron las especies que menor cobertura reportaron con 0.62 % cada una (ver Cuadro 4) ³². Asimismo se evaluó el cambio en las proporciones de frecuencias, que indica el aumento o la disminución de la probabilidad de encontrar a determinada especie dentro de la zona de estudio. Las especies con mayor cambio de proporción en su frecuencia relativa fueron: *Cirsium* sp (4.19 %) pues para el año 1995 obtuvo una frecuencia de (2%) mientras que para el año 2012 triplicó su frecuencia (8%). Por otro lado *Werneria nubigena* obtuvo un menor cambio en proporción (0.44%), para el año 1995 la probabilidad de encontrar a dicha especie era de (16%) mientras que para el año 2012, su frecuencia disminuyó a (7%), por lo que en la actualidad hay una menor probabilidad de encontrar a dicha especie, probablemente debido a que su tolerancia es menor y su adaptabilidad más restringida por las fluctuaciones en el medio ambiente. Otra especie es *Helenia alata* con un cambio de proporción de (0.17 %) fue la especie que menor cambio en la proporción obtuvo, para el año 1995 la probabilidad de encontrarla era de (8%) mientras que para el 2012 se redujo a (1%), lo que indica que esta especie al igual que *W.nubigena* están siendo poco adaptables al terreno.

³² No se obtuvieron datos de la cobertura reportada para el año 1995, por lo que no se pudo comparar la tasa de cambio de cobertura

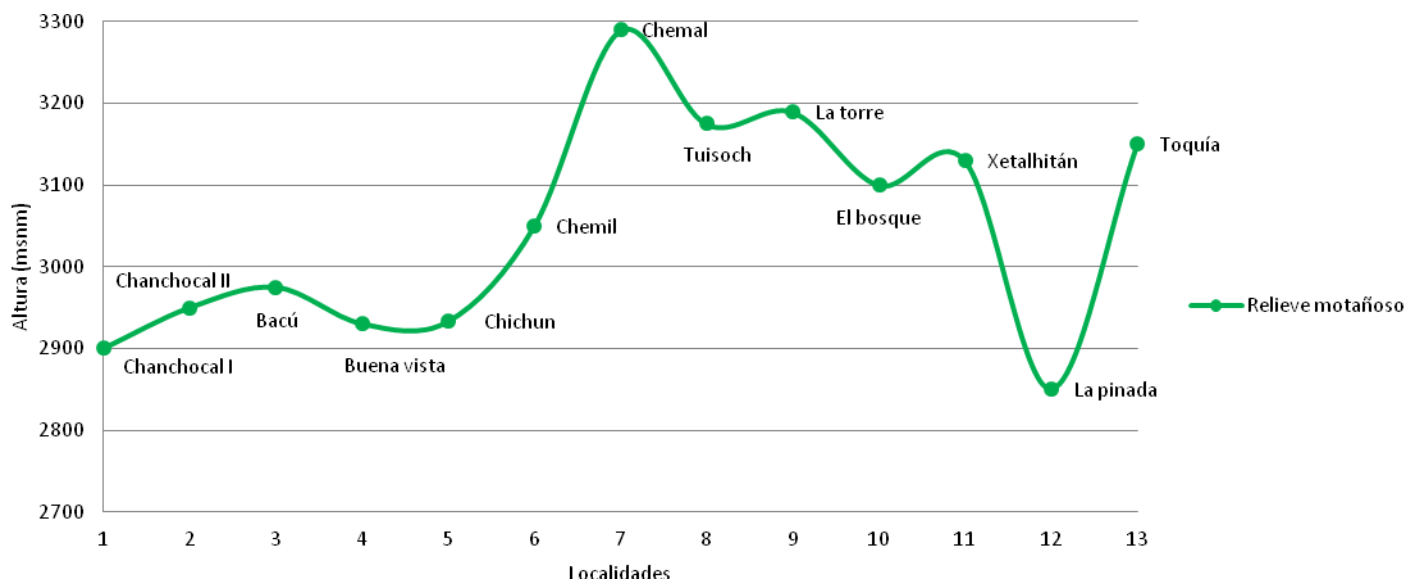


Figura 16. Ubicación de las localidades en función del relieve montañoso de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes. (Elaboración propia, 2013).

En las 13 localidades de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes la altitud varía entre los 2900 a 3290 msnm, es decir que existe un rango de altura de 390 metros, desde la localidad más baja hasta la localidad más alta (ver Figura 16). El punto más alto es la localidad de Chemal, con 3290 msnm, siendo este uno de los picos más altos de toda Centroamérica. Por otro lado la localidad más baja es Chanchocal I, con 2900 msnm, como se puede observar a pesar de ser el punto más bajo, se encuentra a una altura considerablemente alta, por lo que las especies presentes en la región son consideradas como especies de altura y clima frío (aunque por el cambio climático existen días muy calurosos). Las especies más resistentes son las que permanecen en las mismas localidades mientras que otras pueden migrar hacia altitudes más elevadas o cambiar su patrón de frecuencia como una respuesta al constante incremento de la temperatura y así establecerse en regiones en donde la temperatura es idónea para su supervivencia.

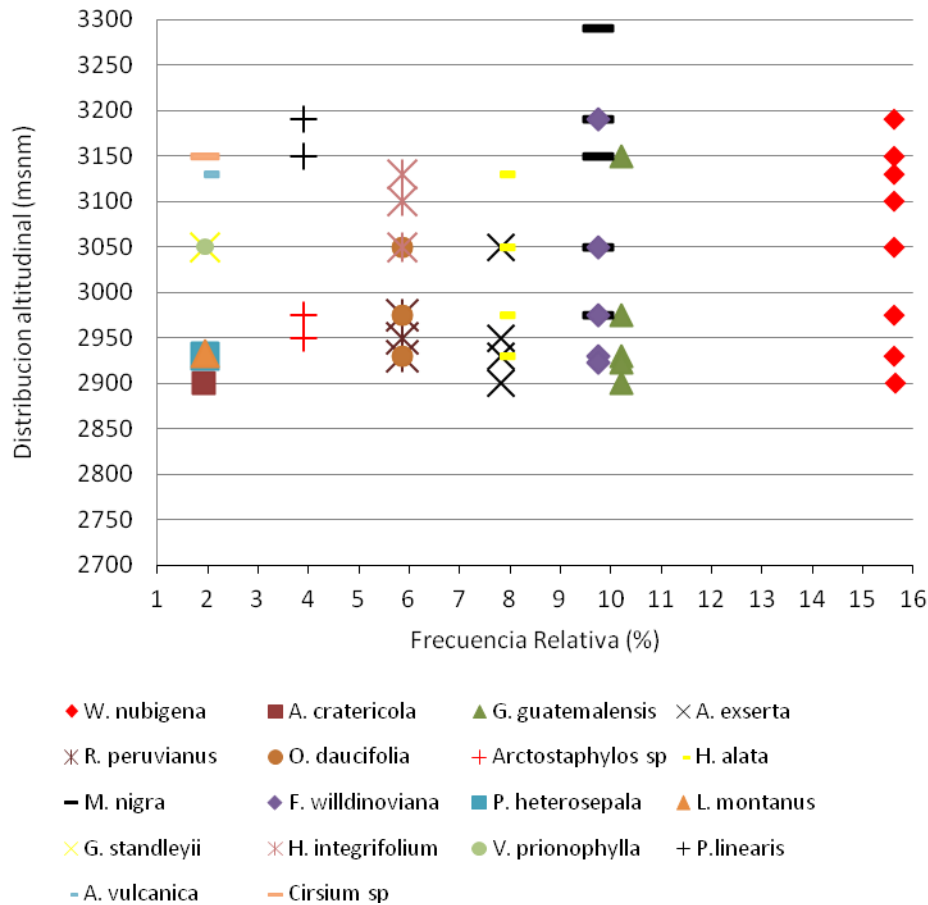


Figura 17. Distribución de la vegetación en función de la altura y su frecuencia en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 1995. (Elaboración propia, 2013).

Para el año 1995, fueron 18 especies las que se encontraban distribuidas dentro de toda la zona de estudio, cada una muestra su distribución y su frecuencia, dichas especies estaban distribuidas en la mayoría de las localidades, hubo especies que estuvieron en mayores rangos de altura mientras que otras obedecían a un solo rango de altura (ver Figura 17). La especie que más se distribuyó en la zona de estudio fue *Werneria nubigena* (Asteraceae) con un rango de altura entre los 2900 - 3190 msnm y con una frecuencia de 15.8 %, esta especie era la que mejor adaptada estaba en la zona para dicho año pues tenía mayor probabilidad de ser encontrada dentro toda la

zona de estudio. Otra especie que se encontraba muy distribuida por toda la región fue *Muehlenbergia nigra* (Poaceae), la cual se ubicaba entre los rangos 2975 - 3290 msnm con una frecuencia de 10%, fue la única que se estableció en la mayor altura de la zona de estudio, sin embargo era menos probable encontrarla debido a que estaba menos dispersa dentro de las localidades. Por otro lado la especie que estaba menos dispersa y por lo tanto era menos frecuente encontrarla es *Arctostaphylos cratericola* (Ericaceae) esta especie únicamente se encontraba distribuida a la altura de 2900 msnm fue la que más baja se encontraba y con una frecuencia de 2%, es decir que era muy poco probable localizarla para el año 1995.

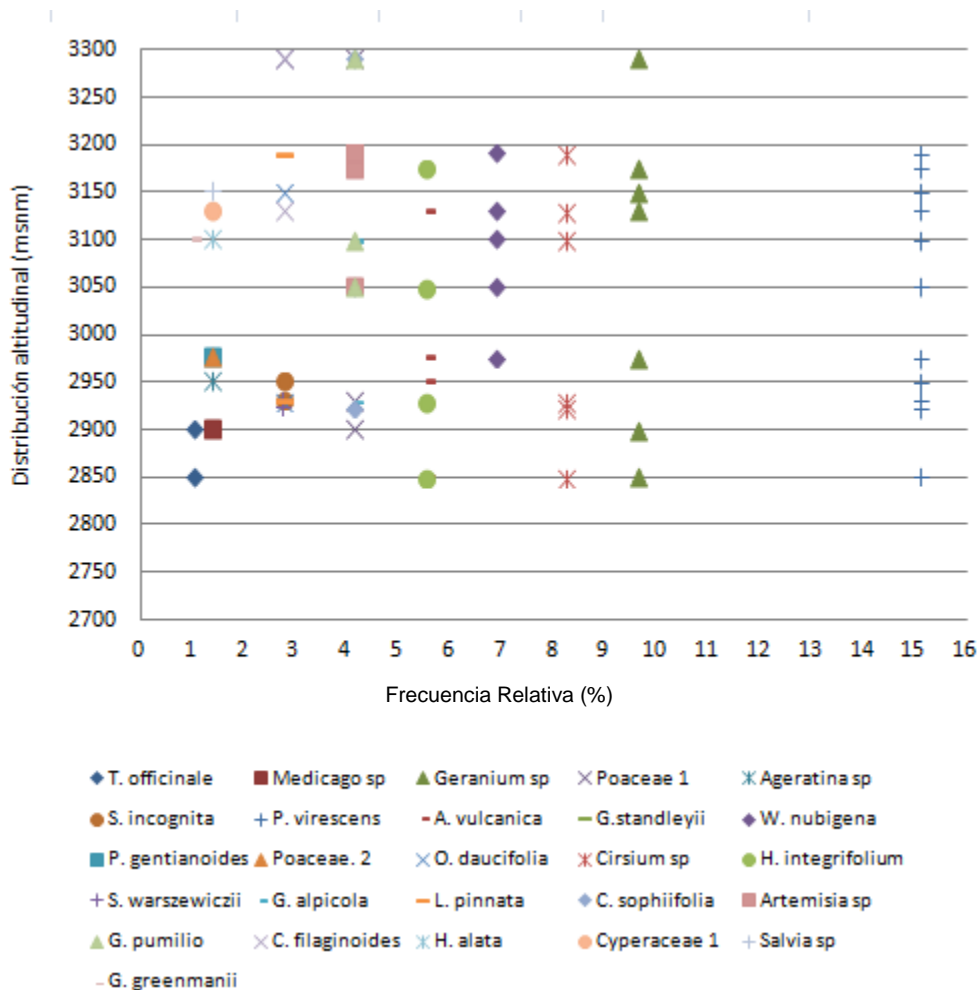


Figura 18. Distribución de la vegetación en función de la altura y su frecuencia en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes para el año 1995. (Elaboración propia, 2013).

Para el año 2012 la especie que más se distribuyó dentro de la zona de estudio fue *Piptochaetium virescens* (Poaceae) dentro de un rango de 2850 a 3190 msnm, con una frecuencia de 15.2%, es un pasto que se encuentra mayoritariamente en las zonas con planicies. Del mismo modo la especie *Geranium* sp (Geraniaceae), se distribuyó de igual manera por todas las alturas (ver Figura 18), demostrando así su capacidad para establecerse dentro de la zona de estudio, sin embargo su frecuencia fue menor en el orden de 9.8%, lo que indica que es menos probable localizarla, esto representa la capacidad de adaptabilidad de la especie. Finalmente una de las especie que menos se distribuyó fue *Taraxacum officinale* (Asteraceae) entre un rango de 2850 a 2900 msnm con una frecuencia de 1%, es decir que su distribución era muy restringida por lo que es difícil de ubicarla dentro de la zona de estudio. Por otro lado tanto las especies reportadas para el año 1995 y del año 2012 son dispares, únicamente son 7 las especies que pueden ser comparables, para ello se analizaron los cambios en su distribución altitudinal.

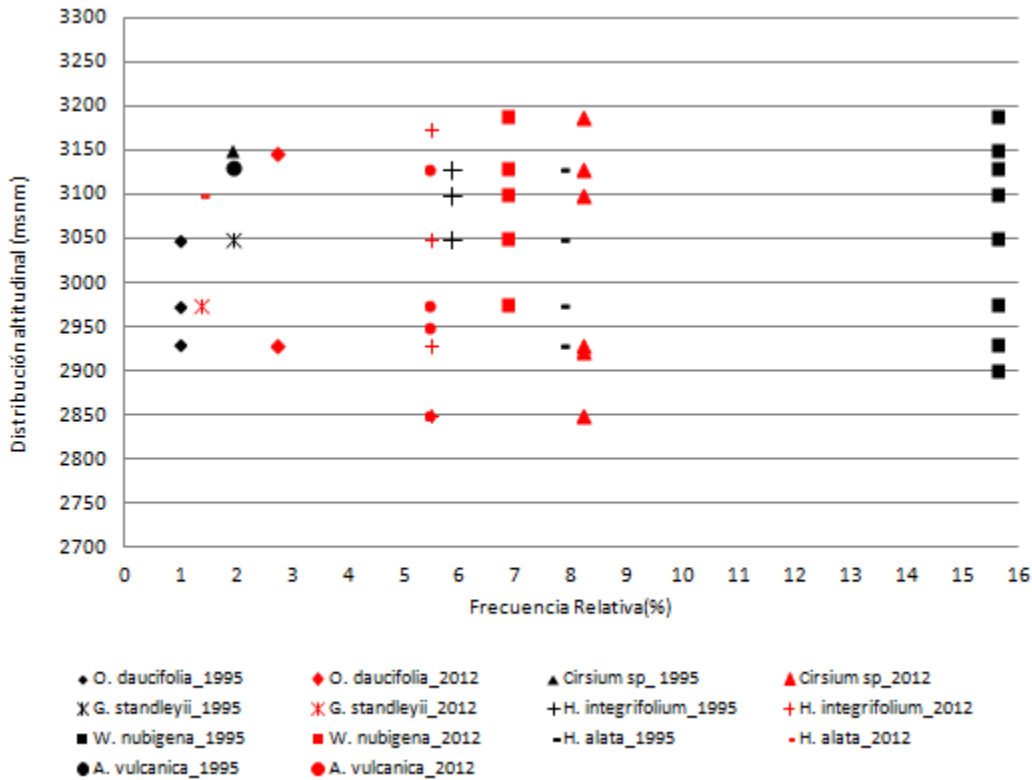


Figura 19. Cambios en la Distribución de la vegetación en función de la altura y frecuencia para el período 1995 - 2012 en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes. (Elaboración propia, 2013).

La comparación entre estas especies permite identificar el rango de distribución así como su cambio en el patrón de frecuencia que han tendido a través del tiempo, pues estos cambios pueden deberse a fluctuaciones en el aumento en la temperatura así como la disminución en el régimen de lluvias de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes. Algunas especies pueden ser más tolerantes que otras, debido a que su nivel de adaptación es más rápido y por lo tanto tienden a conservar su rango normal de distribución cambiando únicamente su patrón de frecuencia, por lo tanto es más fácil localizar a las especies, por otro lado otras especies pueden ser menos tolerantes reduciendo su patrón de frecuencia y distribución, tornándose más difícil la localización de las especies a medida que pasa el tiempo. Se determinó que las siete especies reportadas para ambos años (*O. daucifolia*, *Cirsiium sp.*, *H. integrifolium*, *W.*

nubigena y *A. vulcanica*, *G standleyi* y *H. Alata*) han conservado su rango normal de distribución, sin embargo su patrón de frecuencia ha cambiado (ver Figura 19). En el caso de *O. daucifolia* (Apiaceae) es una especie endémica de Huehuetenango, de suelos húmedos en bosques de Pinos y pastizales (Tropicos, 2014). Esta especie caulescente, delgada, ramificada cerca de la base, y con frutos de 5 - 6 x 1.5 – 2 mm fue reportada por Skutch (1934) a 3180 msnm en Charcol; por Steyermark (1942) a 3400 msnm en Tuimá y por Stevens (1971) en San Juan Ixcoy, Sierra de los Cuchumatanes (Tropicos, 2014). Para el año de 1995 su rango de distribución era de 2930 a 3050 msnm, con una frecuencia de 1%, es decir que fue sumamente difícil de localizarla. Por otro lado para el año 2012 su rango de distribución se elevó de 2930 a 3150 msnm, cambiando su frecuencia a 2.8%. Esta especie a sigue estando dentro de su rango de distribución tomado en cuenta que Steyermark (1942) la localizó a 3400 msnm, sin embargo esta especie presenta un aumento de frecuencia positiva a mayores alturas. Arroyo *et al.* (2004) indica que el aumento y permanencia de las especies vegetales dentro de los ecosistemas en parte se debe a la capacidad que tienen los polinizadores y dispersores en mantener la dinámica vegetal, lo que sugiere que estos pueden estar ayudando a la adaptación y al aumento de frecuencia de esta especie, frente a las cambiantes condiciones climáticas de la Sierra de los Cuchumatanes.

Para el caso de *Cirsium* sp (Asteraceae), esta planta aunque no se determinó el epíteto específico, se sabe que son de tierras altas (Véliz, 2013). Pueden ser perennes pero cortas, rizomas gruesos, acaulescentes o casi acaulescentes, los tallos comúnmente menos de 6 cm. de alto, conocida en la Sierra de los Cuchumatanes entre los 2800 – 3800 msnm (Véliz, 2013). Cumes (1995) estableció su rango máximo de distribución a 3150 msnm con una frecuencia de 2.3%. Sin embargo, para el año 2012 su rango de distribución se estableció entre 2850 - 3190 msnm con una frecuencia de 8.3%. Aunque permanece dentro del rango normal de distribución (Véliz, 2013), ha aumentado su patrón de frecuencia en la última década, sugiriendo una buena adaptación a las nuevas condiciones del hábitat.

Para el caso de *H. integrifolium* (Asteraceae), Esta especie ha sido reportada en la Sierra de los Cuchumatanes, Huehuetenango y en Sololá (Tropicos, 2014). Es una hierba perenne gruesa, de 1 m. de alto o un poco menos, de un rizoma grueso, los tallos simples en la parte anterior; hojas basales oblanceoladas o linear – oblanceolada, principalmente 20-30 cm (Véliz, 2013). Según la Unión Mundial por la Naturaleza (UICN- versión 3.1), esta especie se encuentra dentro de la lista roja de especies amenazadas de tipo “en peligro”. Quezada (2006), reportó esta especie en Todos Santos Cuchumatán a una altura de 3730 msnm (Tropicos, 2014). Véliz (2013) sugirió que esta especie se encuentra dentro de un rango de distribución entre 3000 a 3800 msnm. Para el año 1995 su rango de distribución estaba dentro de los 3050 a 3130 msnm con una frecuencia de 6%, es decir que la probabilidad de encontrar a esta especie era un poco reducida. Por otro lado para el año de 2012, su distribución se reportó dentro de los 2850 a 3175 msnm con una frecuencia de 5.4%. Por lo que se determinó que esta especie puede localizarse alturas menores a los 3000 msnm. Es evidente que esta especie se encuentra dentro de su rango normal de distribución, pero la probabilidad de encontrar a dicha especie ha disminuido, lo que podría sugerir baja adaptación a diversos cambios bióticos y/o abióticos de la zona en donde se establece.

W. nubigena (Asteraceae) es una especie que crece en las áreas de gran altitud. Esta especie es originaria de Sudamérica pero también se tienen registros de su población en México y el norte de Guatemala. Esta especie ha sido reportada en varios lugares de Huehuetenango y San Marcos. Véliz *et al.* (2000), reportó esta especie en Todos Santos Cuchumatán a una altura de 2750 msnm. Flores (1994) la registró en la misma localidad a 3216 msnm (Tropicos, 2014), mientras que Véliz y colaboradores (2000) la reportaron nuevamente a 3800 msnm. Estos indicios sugieren que el rango de distribución de esta especie es alrededor de los 2750 a 3800 msnm. Sin embargo en Sibinal San Marcos, Gallardo (2000) la reportó a 4038 msnm (Tropicos, 2014), lo que indica que se distribuye en lugares incluso muy elevados donde las temperaturas son bajas y de fuertes ventiscas. Por otro lado, Cumes (1995) reportó que su rango de distribución estaba entre 2900 a 3190 msnm, con una frecuencia de 15.62% , mientras que para el 2012 se estableció en un rango de distribución de 2975 a 3190 msnm con

una frecuencia de 7% lo que indica que esta especie no ha cambiado su patrón de distribución, sin embargo se observa una disminución en su patrón de frecuencia a medida que se distribuye a mayores alturas, es decir que entre más elevada sea la altura menor probabilidad de reportar presencia, lo que indica que posiblemente ha tenido una adaptación más lenta a las nuevas condiciones ambientales de la región.

La especie *A. vulcanica* (Rosaceae) ha sido reportada en Guatemala, México y Perú. En Guatemala ha sido reportada en los departamentos de Chimaltenango, Huehuetenango, Quetzaltenango, Sacatepéquez y San Marcos (Tropicos, 2014). Lobo *et al.* (2006), reportó dicha especie en San Juan Ixcoy, Sierra de los Cuchumatanes a 3150 msnm (Tropicos, 2014). Rodas (2006), también la reportó en Todos Santos Cuchumatán a 3370 msnm En la Sierra de los Cuchumatanes (Tropicos, 2014), Cumes (1995) la reportó a 3130 msnm, lo con una frecuencia de 2.3%, debido a que era poco probable de localizarla. Finalmente para el año 2012 su rango de distribución se reportó desde los 2850 a 3130 msnm, con una frecuencia de 5.4%, lo que indica esta especie se localizó a alturas más bajas a las reportadas en años anteriores, no obstante Nuñez (1987) reportó esta especie en las montañas altas de Perú a 2000 msnm (Tropicos, 2014). Arroyo *et al.* (2004) sugiere que “*Un área de la meseta puede tener una altitud muy elevada, pero su topografía ser plana, por lo que su intervalo de altitudes muy reducido y la diversidad de especies baja por efecto de las condiciones abióticas*”. Lo que significa que aunque se reporte presencia de esta especie en Perú a 2000 msnm es importante tener en cuenta que los climas varían de una región a otra debido a su ubicación geográfica y topografía, por lo tanto, se sugiere seguir monitoreando esta especie comparando su patrón de distribución de la Sierra de los Cuchumatanes y las montañas altas de Perú en función del clima, para poder determinar bajo qué condiciones climáticas esta se distribuye. Por otro lado se determino que su frecuencia ha aumentado considerablemente (2.3% - 5.4%), es decir que se ha podido localizar más en los últimos 17 años, lo que puede dar indicios que esta especie ha sido resistente al creciente y constante aumento de temperatura y disminución de lluvias, pues probablemente ha adaptado su ciclo fenológico a las nuevas condiciones climáticas sin tener que colonizar nuevas regiones.

En el caso de *G. standleyi* (Asteraceae) esta planta es anual, de 2-4.5 cm de alto, hojas aglomeradas en una roseta basal, inflorescencias parecidas a espigas 6-25 mm de largo y 5-13 mm de ancho, flores 60-70 por cabezuela; aquenios negro parduzco (Véliz, 2013). El patrón de distribución que muestra esta especie se encuentra entre los 3000 a 3800 msnm conocida en la Sierra de los Cuchumatanes (Véliz, 2013). No obstante, se tienen registros de esta especie en los departamentos de San Marcos, Totonicapán y Sololá (Tropicos 2014). Cumes (1995) reportó esta especie a una altura de 3050, por lo tanto, se encontraba dentro su rango normal de distribución, según lo sugerido por Véliz (2013), con una frecuencia de 2%, lo cual era poco frecuente de localizarla. Por otro lado para el año 2012, se reportó a 2930 msnm, por lo tanto, el patrón de distribución ha cambiado de rango - 70 m (de 3000 msnm a 2930 mnm) tomando como referencia lo sugerido por Véliz (2013), este cambio puede ser debido a que las alturas a menudo son aproximaciones de los investigadores, pues toman referencias de alturas promedios, siendo estos 70 m de diferencia un ejemplo de ello. Sin embargo lo que es de absoluta importancia es el patrón de frecuencia de la especie, pues se reportó una disminución a 1.4%, lo que indica que la posibilidad de encontrar a esta especie ha disminuido, pues a mayor altitud el patrón de frecuencia es mayor, mientras que a menor altitud el patrón de frecuencia es menor. Lo que puede dar indicios a que esta especie se esté adaptado de mejor manera a las condiciones ambientales de mayores altitudes, (pues allí se encuentra las condiciones idóneas para su reproducción), mientras que en menores altitudes las condiciones ambientales sean más calurosas lo que provoca que sea menos probable de localizarla.

Otra especie es *H. alata* (Gentianaceae), nativa del sur de México y Guatemala. En Guatemala se ha encontrado en los departamentos de Quetzaltenango, Huehuetenango y San Marcos. Véliz (1997), la reportó a 3828 msnm en la meseta Alta de la Sierra de los Cuchumatanes (Tropicos, 2014). López (2003) reportó esta especie a una altura de 3200 msnm en la misma región (Tropicos, 2014). Sin embargo Cumes (1995) reportó su rango de distribución entre los 2930 a 3130 msnm es decir que es posible encontrar esta especie a menos alturas de los 3000 m, además se reportó una

frecuencia de 8.1%, debido a que era bastante probable encontrarla en la región. Para el año 2012 su distribución se localizó a 3100 msnm con una frecuencia de 1.4%, lo que significa que esta especie cada vez se torna más difícil su búsqueda debido a que su nivel de adaptación está siendo más restringido a comparación de años anteriores.

6.2 ISLA REY JORGE E ISLA ROBERT – SHETLAND DEL SUR (ANTÁRTIDA)

Las localidades evaluadas no presentaron un nivel significativo de intervención humana, por observaciones y acercamientos con científicos y militares del INACH y IAU³³, indicaron que no han existido construcciones de bases científicas, debido a que la Antártida es una región prístina, dedicada exclusivamente para la ciencia y a la paz. Por lo que se pueden tomar estos resultados como una aproximación de las presentes tendencias del cambio en las comunidades vegetales y sus posibles relaciones con el cambio climático.

Cuadro 5 Composición vegetal de la Isla Rey e Jorge e Isla Robert – Shetland del Sur (Antártida) para el año 2009.

		Localidades													
Familia	Especie	Isla Rey Jorge		Isla Robert											
		1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Poaceae	<i>Deschampsia antarctica</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Elaboración propia, 2014 * SN = Sin Nombre

Donde:

Isla Rey Jorge

1: Collins Harbour, 2: Nebles Point

Isla Robert

SN: 1-11

³³ Instituto Antártico Uruguayo

Cuadro 6. Composición vegetal de la Isla Rey Jorge e Isla Robert – Shetland del Sur (Antártida) para el año 2013

		Localidades																	
Familia	Especies	Isla Rey Jorge							Isla Robert										
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Poaceae	<i>Deschampsia antarctica</i>	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cariophyllaceae	<i>Colobanthus quitensis</i>			X	X		X	X											

Elaboración propia, 2014 * Loc. N = Localidad Nueva. / * SN= Sin Nombre

Donde:

Isla Rey Jorge

1: Collins, 2: Nebles Point, 3: Base Artigas Naufragio (Loc. N), 4: Base Carlini (Loc. N), 5: Base Escudero (Loc. N), 6: Base Frei- Costa (Loc. N), 7: Base Frei-Elefantera – refugio (Loc. N).

Isla Robert

SN: 1-11

En el año 2009, Torres *et al.* (2009), reportó una especie (*Deschampsia antarctica*), distribuida en 13 localidades³⁴ (ver Cuadro 5): Isla Rey Jorge (Collins Harbour y Nebles Point) e Isla Robert (1-11). Para el año 2013 se reportaron dos especies (*Deschampsia antarctica* y *Colobanthus quitensis*), distribuidas en las 13 localidades (ver Cuadro 6), además se incluyeron 5 localidades nuevas (Loc. N) en donde se reportó presencia de las mismas: Isla Rey Jorge (Collins Harbour (1sp), Nebles Point (1sp), Base Artigas (1sp - Loc. N), Base Carlini (2sp – Loc. N), Base Escudero (1sp – Loc. N), Base Frei – costa (1sp – Loc. N), Base Frei- elefantera (2sp – Loc. N)). Isla Robert (1-11 (1sp)).

³⁴ La investigación de Torres *et al.* (2011) también contempló la visita de algunas localidades en la Península Antártica – Paradise Harbour, sin embargo por motivos de logística en la presente investigación únicamente se visitaron 13 localidades de las Islas Shetland del Sur – Isla Rey Jorge e Isla Robert.

No obstante pese a que Torres *et al.* (2011) no contempló analizar en su estudio a *C. quitensis* se sabe que dicha especie ha colonizado la región de estudio desde hace mucho tiempo atrás, por lo que durante el período de tiempo 2009-2013 la composición de especies vasculares no ha cambiado en absoluto siendo estas dos las que predominan la región de estudio. En la región, el cambio climático está afectando con el aumento de la temperatura y el derretimiento de los glaciares. Se ha demostrado que la Antártida debido a su geo–posición, es una de las regiones en el mundo que más impactos está tendiendo por el cambio climático, así como el aumento del agujero de la capa de Ozono (O₃)³⁵, lo que expone a todos los organismos a los devastadores rayos UV. Estos problemas ambientales alteran severamente la dinámica de las únicas dos especies vegetales que han logrado establecerse en la región *Deschampsia antarctica* (Poaceae) y *Collobanthus quitensis* (Caryophyllaceae).

³⁵ Es una capa protectora de la atmósfera que permite preservar la vida sobre la tierra y actúa como escudo para proteger la tierra de la radiación ultravioleta perjudicial proveniente del sol. Está compuesta de Ozono, el cual se encuentra esparcido en la atmósfera (de 15 a 50 km sobre la superficie de la tierra) y su concentración varía con la altura (IPCC, 2001).

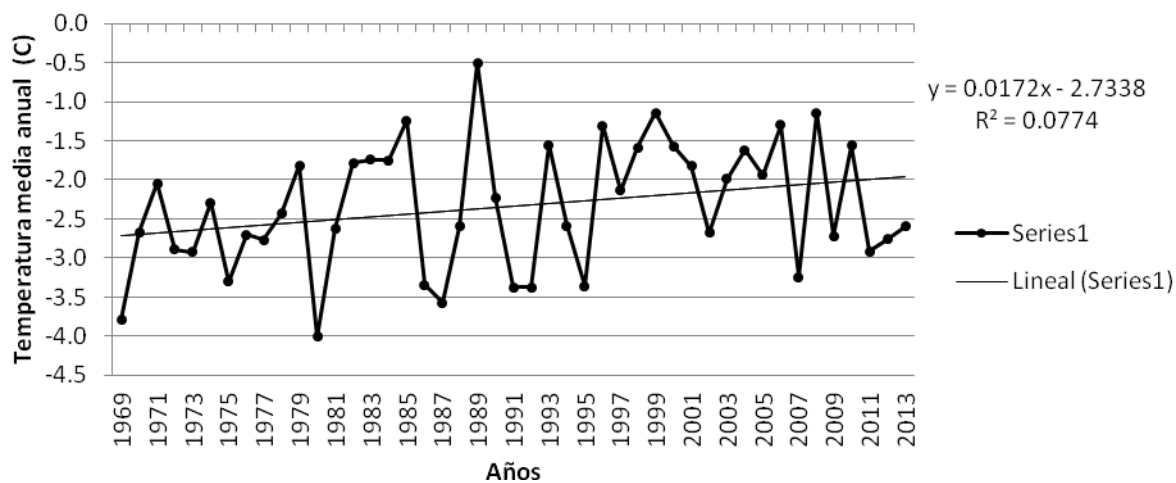


Figura 20. Cambios en la temperatura media anual de la Antártida en un período de tiempo de 44 años (1969 - 2013). Elaboración propia, 2014. (Fuente: Estación Meteorológica de la Base Científica Antártica Rusa Bellingshausen – READER).

A lo largo de 44 años se ha observado un constante incremento de la temperatura en la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) ($R^2 = 0.08$) indicando que ha existido un aumento significativo en la temperatura. En 1969 la temperatura promedio anual fue de (-3.8 °C) mientras que para el 2013 el promedio anual fue de (-2.6 °C) (ver Figura 20). Se ha estimado la temperatura a aumentado (+0.4 °C) durante el periodo de 1992 - 2013 en comparación al periodo de 1969 - 1991, evidenciando un cambio acelerado en las condiciones climáticas de la región.

Para el régimen de lluvias se ha estimado que en las últimas décadas han precipitado un promedio anual de 380 – 600 mm, sin embargo para medir la precipitación no se ha establecido una medida para diferenciar la precipitación en forma de nieve y de lluvia. Sin embargo es probable que el aumento de las comunidades vegetales no sea una consecuencia exclusiva del aumento de la temperatura, sino de una combinación de la disponibilidad de agua (derretimiento de glaciares) y el calentamiento terrestre

Cuadro 7. Cobertura vegetal para la Isla Rey Jorge e Isla Robert (Antártida) para el período 2009 - 2013

No de Parcela	Localidades	<i>C. quitensis</i>	<i>D. antarctica</i>			Elevación (msnm)	Pendiente (o)	Exposición
		Cobertura (%) 2013	Cobertura (%) 2009	Cobertura (%) 2013	Cambio de Cobertura (%)			
	Isla Rey Jorge							
P1	Collins Harbour	NR	46	47.5	1.5	21	2.1	NE
P2	Nebles Point	NR	44	45.3	1.3	16	8.4	NE
P3	Base Artigas Naufragio	1.6	NR	NR	0	5	5.6	NE
P4	Base Carlini	2.2	NR	54.3	0	18	7.4	NE
P5	Base Escudero	NR	NR	0.9	0	22	5.3	NE
P6	Base Frei- Costa	4	NR	NR	0	8	6.2	NE
P7	Base Frei- Elefantera - refugio	4.3	NR	2.4	0	15	9.8	NE
	Isla Robert							
P8	1	NR	0.8	1.4	0.6	48	33.7	NE
P9	2	NR	0.2	1.3	1.1	55	5.7	O
P10	3	NR	2	3.3	1.3	45	9.1	NE
P11	4	NR	3.2	5.6	2.4	51	18	NE
P12	5	NR	1	3.4	2.4	55	27	NE
P13	6	NR	8	8.7	0.7	47	17	NE
P14	7	NR	3.8	5.2	1.4	13	31.8	N
P15	8	NR	4	4.8	0.8	37	9.9	N
P16	9	NR	10	11.2	1.2	32	14.9	N
P17	10	NR	22	23.8	1.8	34	16.8	N
P18	11	NR	5.3	5.9	0.6	52	14.1	N
		3	11.56	12.88	1.32			

Torres *et al.* (2011), adaptado por Molina (2014).

Nota: NR = No se Reportó

En la Isla Rey Jorge y la Isla Robert aproximadamente el 90% de su territorio está cubierto por hielo. En el territorio libre de hielo (10%) se encuentran presentes las dos especies vasculares, crecen principalmente junto a rocas y cubiertas por musgos, también donde hay presencia de pingüineras y de skuas (aves endémicas de la región).

Para el año 2009 fueron muestreadas 13 localidades. En la Isla Rey Jorge fueron 2 localidades (Collins Harbour y Nebles Point), y en la Isla Robert fueron 11 localidades (1-11), todas las localidades presentaron diferentes coberturas de *D. antarctica* (ver Cuadro 7). El porcentaje de cobertura para la localidad de Collins Harbour fue - 46%, mientras que la localidad Nebles point fue de 43%. Para el caso de las localidades en

la Isla Robert el porcentaje de cobertura fue más variado. La localidad No 10 fue la que presentó la mayor cobertura - 22%, la cual se sitúa a una elevación de 34 msnm. Por otro lado la localidad No 2, fue la que presentó la menor cobertura - 0.2%, la cual se sitúa a una elevación de 55 msnm. Torres *et al.* (2011) sugiere que las colonias de *D. antarctica* se presentan principalmente en lugares rocosos en donde estas mismas sirven de barrera del viento y así puedan reproducirse de mejor manera, también pueden crecer en lugares donde exista presencia de pingüinos o skuas pues estos desechan heces fecales lo que sirve como abono orgánico para la supervivencia de dicha especie. Para el año 2013 se muestrearon las mismas localidades incluyendo 5 más para un total de 18 localidades. En la Isla Rey Jorge la localidad que presentó mayor cobertura fue Collins Harbour con 47.5%, mientras que la localidad de Nebles Point obtuvo una cobertura de 45.3%. Por otro lado en la Isla Robert, la localidad que presentó mayor cobertura fue la localidad No 10 con 23.8% mientras que la localidad que menor cobertura presentó fue la localidad No 2 con 1.3%. Estos valores demuestran una clara tendencia de crecimiento bastante acelerada pues en 5 años (2009 – 2013) se reportó un aumento significativo de cobertura ($\geq 0.6 \leq 2.4$) indicando la influencia del aumento de la temperatura y el deshilo de los glaciares que dejan terreno libre para que estas continúen colonizando. Por otro lado se reportó presencia de *C. quitensis* la cual pudo ser localizada en regiones en donde había mucha biomasa vegetal, pues esta planta vive asociada a musgos, rocas, y líquenes. Las localidades en donde se reportó a esta especie fueron: Base Artigas-naufragio con 1.6%, Base Carlini con 2.2%, Base Frei-costa con 4% y Base Frei-Elefantera-refugio con 4.3% de cobertura vegetal.

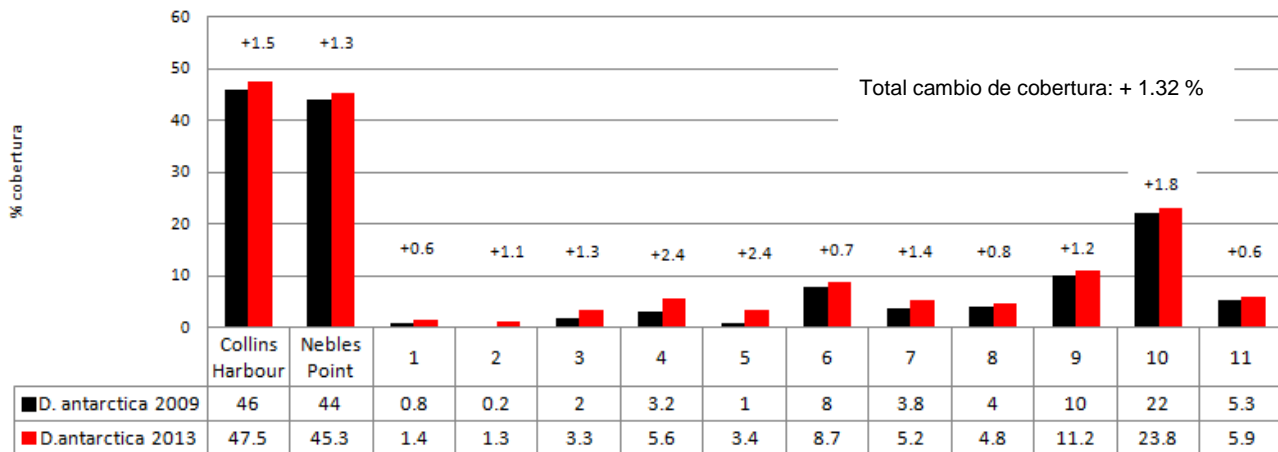


Figura 21. Cambio en la cobertura de *Deschampsia antarctica* en la Isla Rey Jorge e Isla Robert durante el período 2009-2013. (Elaboración propia, 2013). Nota: los números que aparecen en la parte de arriba de las barras, hacen referencia al porcentaje de cambio de cobertura.

El aumento de la temperatura y la disminución del hielo han generado que exista cada vez más terreno libre para la colonización de esta especie. Al parecer *D. antarctica* es la especie vascular que mejor se ha adaptado a los terrenos de la Antártida. En todos los sitios muestreados se ve una clara tendencia de aumento en la cobertura vegetal, lo que indica que el aumento de la temperatura está garantizando la expansión de la especie. Por otro lado Torres *et al.* (2011) menciona que el aumento de la temperatura no es el único factor que determina la expansión de la especie, pues se tienen registros que existen veranos muy gélidos que limitan la existencia de la misma. Sin embargo el deshielo y el retroceso de los frentes glaciares, es lo que ha provocado que las especies tengan una mayor oportunidad de expandirse, pues el agua en estado sólido pasa a estado líquido nutriendo las especies vegetales. El monitoreo en las localidades de estudio confirman el aumento en la cobertura vegetal de *D. antarctica* (ver Figura 21), tanto en la Isla Rey Jorge como en la Isla Robert. Gebauer *et al.* (1987) monitoreo ha *D. antarctica* en las localidades de Collins Harbour y Nebles Point en donde reportó una cobertura de 10% - 25%, Años más tarde Torres *et al.* (2011) reportó una cobertura de 44% - 46% y finalmente para el monitoreo del año 2013, la cobertura fue de 45.3% - 47.5%. Estos monitoreos claramente demuestran que la

vegetación vascular ha aumentado en las últimas décadas, esto por posibles efectos en el incremento de la temperatura. Para el caso de la Isla Robert (localidades 1-11) para el año de 1994, en la localidad No 10, el aumento de la cobertura de *D. antarctica* fue de 2%, mientras que para el 2009 los valores ascendieron a 22%, y finalmente para el año 2013 los valores incrementaron a 23.8 %, estos resultados han demostrado un incremento significativo en su cobertura. Se realizó un promedio del cambio de la cobertura para la Isla Rey Jorge e Isla Isla Robert y se determinó que en promedio la cobertura ha incrementado en un 1.32% en comparación del año 2009, dando paso a una reorganización en las comunidades vegetales de la Antártida.

La falta de calor en verano impide casi por completo el desarrollo de las plantas y favorece la formación de enormes glaciares que se extienden hasta la costa. Sin embargo en la actualidad la vegetación antártica tiende a expandirse a nuevas regiones dentro de las islas, actuando como bio-indicadores de las constantes fluctuaciones ambientales de la región. Para el año 2009 en la Isla Rey Jorge se identificaron las principales localidades en donde se encontraba presencia de *D. antarctica*: Collins Harbor y Nebles Point, ambas localidades se encontraban libres de hielo y con la flora al descubierto, la presencia de esta especie depende de la disponibilidad de agua líquida proveniente del húmedo ambiente oceánico y del derretimiento de los frentes glaciares que les permite mantenerse hidratadas y activas durante muchos días al año, lo que explica sus tasas de crecimiento a pesar de las bajas temperaturas. Para el año 2013 se volvió a encontrar presencia de *D. antarctica* en las mismas dos localidades. Pero además se muestrearon 3 localidades más (Ver anexos), en donde se identificó presencia de vegetación, (Base Frei - Elefantera – refugio, Base Escudero y Base Carlini). Estos nuevos registros permitirán ampliar la data de cobertura vegetal pues contribuirán para determinar en años futuros el patrón de expansión de dicha especie. Para el caso de *C. quitensis* se reportó presencia de esta especie en 4 localidades (ver anexos) de la Isla Rey Jorge (Base Artigas – naufragio, Base Carlini, Base Frei – costa y Base Frei – elefantera - refugio). En dichas localidades, no se cuenta con registros de presencia de esta especie en años anteriores, por lo tanto, no se sabe si su patrón de expansión ha incrementado, disminuido o se ha mantenido, no obstante, se pudo

comprobar que esta especie también se encuentra presente en la región de estudio, aunque con un porcentaje promedio de cobertura menor a *D. antarctica* pero considerable para una región como la Antártida. En la Isla Robert, no se identificaron nuevas regiones de colonización. Cabe mencionar que *C. quitensis*, tiene registros de presencia en otras partes del mundo pues se han encontrado presencia de esta especie desde México hasta América del sur (por toda la cordillera) y su prefijo “*quitensis*” proviene de Quito, la capital de Ecuador, pues fue allí en donde se identificó por primera vez. Esta situación claramente expansiva es hasta ahora es la respuesta más evidente de los ecosistemas terrestres de la Antártida marítima al calentamiento global.

6.3 RELACIÓN DE LOS DOS ECOSISTEMAS Y SU RESPUESTA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

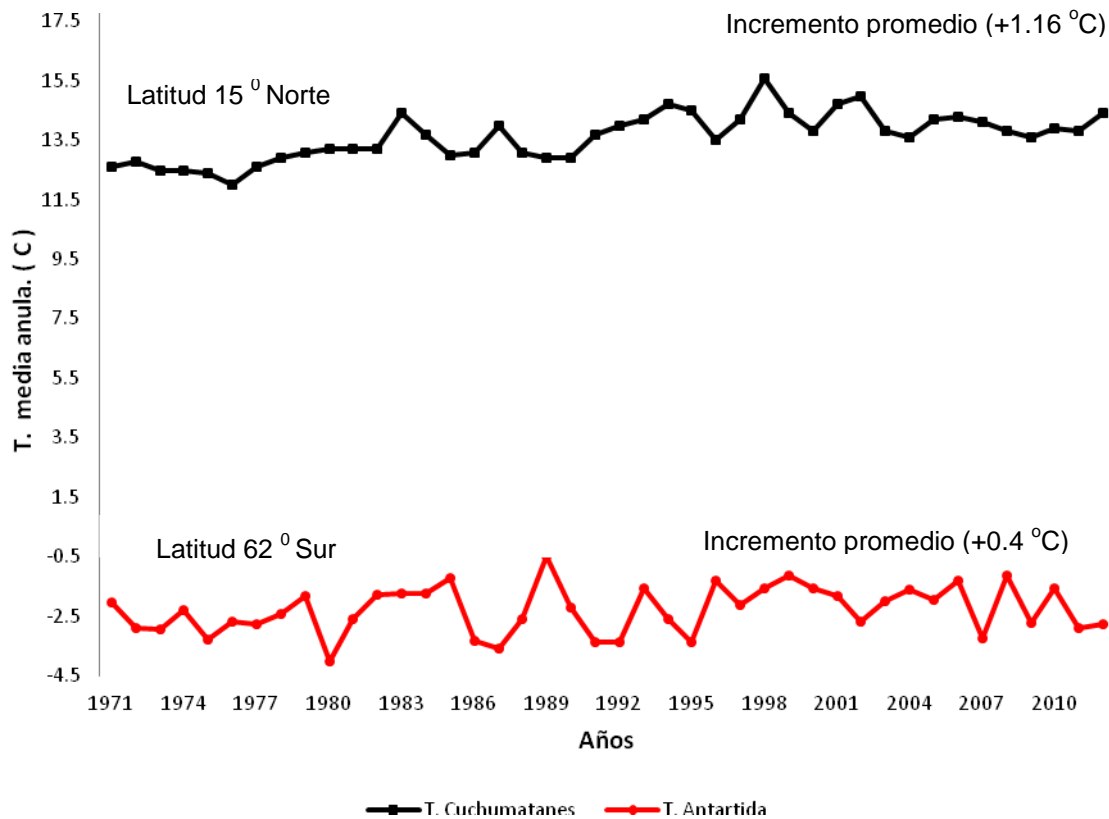


Figura 22. Comparación de la temperatura media anual de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes vrs la Isla Rey Jorge e Isla Robert - Antártida, en un período de tiempo de 41 años (1971 – 2012). (Elaboración propia, 2014). Fuente: INSIVUMEH y READER.

El efecto del cambio climático es un fenómeno a escala global, el aumento de la temperatura implica reorganizaciones en las comunidades vegetales, este fenómeno se ha dado en dos ecosistemas altamente sensitivos a cambios en el clima de latitudes distintas (meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes = Lat 15° N / Isla Rey Jorge e Isla Robert = 62°S). En la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes la temperatura promedio ha incrementado +1.16°C; mientras que en la Antártida marítima ha

incrementado en promedio $+0.4^{\circ}\text{C}$, estos valores reflejan que las temperaturas sobre la superficie de la tierra aumentan más rápidamente que las temperaturas sobre la superficie o en cercanías del océano, debido a que el mar pierde más calor por evaporación. Por otro lado se ha evidenciado que el hemisferio norte se calienta más rápido que el hemisferio sur, ya que tiene más tierra y mayores extensiones de nieve y el hielo marino estacional que es objeto de retroalimentación (hielo-albedo), (ver Figura 22). En adición, la disponibilidad de agua por precipitación o deshielo varía y tiene efectos opuestos en los dos ecosistemas. En la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes el promedio del régimen de lluvias ha disminuido en las últimas décadas en un 1.47%, mientras que en la Antártida la precipitación permanece constante. Sin embargo, los frentes glaciares se están derritiendo a un paso acelerado, aumentando la disponibilidad de agua para las especies vegetales. Por lo tanto, en la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes se observa un déficit hídrico y en la Antártida marítima un incremento por el deshielo. Aunque el cambio climático tiene consecuencias negativas a nivel global; los patrones en la composición, abundancia y distribución de algunas especies a nivel local pueden ser distintos. El argumento anterior pareciera apoyar a los patrones encontrados en este estudio. La escala de impacto también obedece a cada especie vegetal, no se puede generalizar el impacto del cambio climático pues dependerá de la respuesta adaptativa de cada organismo ³⁶. Sin embargo, esta investigación es una aproximación de las probables tendencias en la dinámica vegetal en respuesta al cambio climático.

Los cambios en frecuencia y cobertura aquí reportados probablemente obedecen a una influenciada del efecto invernadero. En la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes se evidenció el cambio en las proporciones de frecuencias que las especies vegetales han tenido a través del tiempo sin embargo no han mostrado

³⁶ El cambio climático puede alterar de manera diferente los procesos fenológicos y morfológicos de las especies vegetales

migración hacia altitudes más elevadas sino se han mantenido dentro de su rango normal de distribución. En La Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) se estimó un aumento promedio de 1.32% en la cobertura entre el año 2009 - 2013 demostrando que el incremento de la temperatura asociada con la disponibilidad de agua parecería ser que propiciara las condiciones *idóneas* para la constante colonización y expansión de la vegetación.

Los análisis en ambas regiones permitieron obtener una aproximación de cómo el cambio climático está afectando la vegetación herbácea, por lo que es necesario tomar acciones de conservación de los recursos naturales realizando acciones tales como: Establecimiento de más Áreas Protegidas, reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, reforestación de las partes altas de las montañas (recarga hídrica), educación ambiental, investigación científica, monitoreos a largo plazo, entre otras. Con estas acciones, se podría mitigar los efectos del cambio climático en las regiones de estudio, y así, conservar nuestra vegetación y asegurar la supervivencia de nuestras generaciones futuras.

VII. CONCLUSIONES

Meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes

- La temperatura promedio anual ha incrementado en los últimos 20 años en +1.16 °C, mientras que la precipitación ha disminuido 1.47%. Siendo esta variabilidad una evidencia del cambio climático que sufre la región de estudio.
- La composición vegetal reportada para el año 1995 fue de 18 especies distribuidas en 10 familias. Por otro lado para el año 2012 la composición vegetal reportada fue de 26 especies distribuidas en 10 familias.
- Los valores de los índices de diversidad de la vegetación para el año 1995 fueron: índice de Shannon = 2.25 y el índice de Simpson = 0.88, mientras que para el año 2012 (índice de Shannon = 2.53 y el índice de Simpson = 0.92), lo que indicó que el año 2012 fue más diverso que el año 1995. La prueba de Wilcoxon demostró una diferencia significativa de ($p = 0.036$) en el cambio de la tasa de composición de especies vegetales.
- Para el año 2012 se reportó una cobertura media de 9.47%, *Piptochaetium virescens* fue la especie con mayor cobertura (55.08%), mientras que *Senecio warszewiczii* y *Salvia* sp fueron las que menor cobertura reportaron (0.62 % cada una).
- La especie que reportó el mayor cambio en la Frecuencia Relativa – FR% fue *Cirsium* sp (4.19 %). Por otro lado las especies que reportaron menor cambio de FR% fue *Werneria nubigena* (0.44%) y *Helenia alata* (0.17 %). Este patrón podría sugerir el nivel de tolerancia y adaptabilidad de dichas especies por fluctuaciones en el medio ambiente.
- Las especies *Oreomyrhis daucifolia*, *Cirsium* sp y *Alchemilla vulcanica* han mantenido su rango normal de distribución sin embargo su patrón de frecuencia

ha aumentado, del mismo modo *Helenium integrifolium*, *Werneria nubigena*, *Gnaphalium standleyi* y *Helenia alata* han mantenido su patrón de distribución no obstante han disminuido en su patrón de frecuencia

Isla Rey Jorge e Isla Robert – Antártida

- La temperatura promedio anual ha aumentado en los últimos 21 años $+0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, del mismo modo la disponibilidad de agua se ha acrecentado por el constante y rápido derretimiento de los frentes glaciares.
- El monitoreo de *D. antarctica* en la Isla Rey Jorge e Isla Robert confirmó un aumento en la cobertura media de 1.32%. Este incremento podría responder al constante aumento de la temperatura y al derretimiento de los glaciares, que propician un ambiente *idóneo* para la colonización de esta especie.
- La especie *C. quitensis* se localizó en 4 localidades (Base Artigas-naufragio, Base Carlini, Base Frei-costa y Base Frei-Elefantera-refugio) reportando una cobertura promedio de 3%. Este valor porcentual es más bajo a los reportados por *D. antarctica* pues es menos común en la región de estudio.
- En 2013 se muestrearon 5 localidades más, en donde se identificó presencia de vegetación, estos nuevos registros permitirán ampliar la data de cobertura vegetal pues contribuirán para determinar en años futuros el patrón de expansión de las especies. Para el caso de *C. quitensis* no se cuenta con registros de presencia de esta especie en años anteriores, por lo tanto, no se sabe si su patrón de expansión ha incrementado o disminuido.

Relación de los dos ecosistemas y su respuesta ante el cambio climático

- En la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes el cambio climático ha sido más severo que en la Isla Rey Jorge e Isla Robert - Antártida, pues la temperatura promedio se ha incrementado tres veces, además se ha notado una reducción en la precipitación media en las últimas décadas.
- El ecosistema de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes es más rico en especies vegetales que la Isla Rey Jorge e Isla Robert - Antártida. No obstante ambos ecosistemas están experimentado fluctuaciones en la temperatura y disponibilidad de agua, de tal manera que algunas especies vegetales están acoplando de una mejor manera su nivel de adaptación y tolerancia, mientras que otras son menos tolerantes y poco adaptables a las cambiantes condiciones climáticas, constituyendo una nueva estructura en las comunidades vegetales.
- El patrón de distribución para las dos regiones de estudio se determinó de diferente manera, para el caso de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes se estableció mediante el rango altitudinal (entre los 2900 – 3300 msnm), mientras que en la Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert) se determinó mediante la expansión de las poblaciones vegetales y la localización de 5 localidades más, establecidas para futuros monitoreos.

VIII. RECOMENDACIONES

- Establecer programas de monitoreo a largo plazo y/o parcelas permanentes en las dos regiones de estudio para seguir observando los cambios en las comunidades vegetales.
- Implementar monitoreos dentro de Áreas Protegidas para aumentar la probabilidad de que los cambios en las comunidades vegetales sean por factores climáticos.
- Promover el establecimiento de más Áreas Protegidas en las Islas Shetland del Sur (Antártida) para evitar la degradación de la flora por movimientos militares y científicos.
- Estudiar la fenología y la interacción planta-animal de las especies vegetales de ambas regiones de estudio, para constatar si existen relaciones directas con los efectos del cambio climático
- Mejorar y digitalizar la recolección de datos climáticos en las estaciones de la Sierra de los Cuchumatanes para analizar de una mejor manera el cambio en la temperatura y precipitación.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo, J., Carrion, J., Hampe, A. y Jordano, P. (2004). La distribución de las especies a diferentes escalas espacio-temporales. Madrid, España. Consultado el 29 de Junio de 2014. Disponible en red:
<http://www.globimed.net/ficheros/libros/Ecologia/Cap02%20-%20La%20distribucion%20de%20las%20especies%20a%20diferentes%20escala%20espacio-temporales.pdf>
- Asociación de Organizaciones de los Cuchumatanes - ASOCUCH (2004). Desarrollo forestal, conservación de la biodiversidad, empoderamiento comunitario y gobernabilidad ambiental democrática en la Sierra de los Cuchumatanes. Huehuetenango, Guatemala. Consultado el 5 de Octubre de 2012. Disponible en red: <http://www.asocuch.com/documentos/asocuchambiental.pdf>
- Base Antártica del Perú (s.f.). La Antártida. Lima, Peru. Consultado el 27 de Septiembre de 2012. Disponible en red: <http://www.dhn.mil.pe/docs/antartida/antartida.pdf>
- Blanquet, B. y Lalucat, J. (1979). Fitosociología, bases para el estudio de las comunidades vegetales. España. Blume. 820 págs.
- Cabrera, A. y Willink, A. (1980). Biogeografía de América Latina. Washington, D.C. Serie de Biología. Monografía No. 13, 122pags.
- Chaviano, A. (2007). Importancia de los estudios de flora-vegetación en el desarrollo de la minería. Caso de estudio: Moa. Consultado el 23 de Septiembre de 2012. Disponible en red:
http://www.revistafuturos.info/raw_text/raw_futuro19/flora_moa.pdf
- Comisión Presidencial Coordinadora de la Política del Ejecutivo en materia de Derechos Humanos – COPREDH. (2008). Informe del Estado de Guatemala Resolución 7/23 del Consejo de Derechos Humanos: “Los derechos humanos y el

cambio climático". Guatemala, Guatemala. Consultado el 20 de Junio de 2013.
Disponible en red:

<http://www.ohchr.org/Documents/Issues/ClimateChange/Submissions/Guatemala.pdf>

Cowling, R., Witkowski, E., Milewski, A. y Newbey, K. (1994). Taxonomic, edaphic and biological aspect of plant endemism on matched sites in Mediterranean and South Africa and Australia. Institute for Plant Conservation. Journal of Biogeography. 21: 651-664.

Cumes, M. (1995). Estudio Preliminar de los suelos y vegetación de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes. Guatemala, Guatemala: Tesis de la Universidad San Carlos de Guatemala.

De la Cruz, J. (1982). Clasificación de zonas de vida a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques - INAB. 42 págs.

Dirección Antártica de Argentina – DNA. (2009). Ecosistema Antártico, Buenos Aires, Argentina. Consultado el 2 de septiembre de 2012. Disponible en red:
<http://www.dna.gov.ar/DIVULGAC/CAPT03.PDF>

Escuela de Ecología San José. (2010). Regiones Tropicales. Consultado el 28 de Octubre de 2012. Disponible en red:
<http://www.eesj.edu.gt/ubicacion/regionestropicales-y-subtropicales/>

Estrada, M. (2001). Cambio climático global: causas y consecuencias. Consultado el 23 de Septiembre de 2012,. Disponible en red:
<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/ambientales/climatico.pdf>

Fredericksen, B. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia.

Gómez, J., Monterroso, A., Tinoco, J. y López, G. (2007). Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. Consultado el 15 de Julio de 2014. Disponible en red: <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art04.pdf>

Hansen, J., Ruedy, R., Glascoe, J. y Sato, M. (1999) GISS analysis of surface temperature change. Consultado el 20 de septiembre de 2012. Disponible en red: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999JD900835/abstract>

Hawkins, B. y Sharrock, S. (2008). Plants and climate change: ¿Which future? Richmond, UK. Botanic Gardens Conservation International.

Hebel, I. (2008). Boletín antártico Chileno, Especial Biodiversidad Antártica. Estudiando los musgos que están colonizando las tierras descubiertas por el retroceso de glaciares, en el sector de Lyons Ramp. Chile, Instituto Antártico Chileno. Consultado el 21 de septiembre de 2012. Disponible en red: <http://www.inach.cl/wp-content/uploads/2009/10/2010-Junio.pdf>

Ianika. (2014). Que es una Parcela. Consultado el 20 de junio de 2014. Disponible en red: <http://ianika.wikispaces.com/%C2%BFQu%C3%A9+es+un+transecto%3F>

Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente - IARNA. (2009). Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Guatemala. Universidad Rafael Landívar.

Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente - IARNA. (2011). Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012/Cambio climático y biodiversidad. Guatemala. Universidad Rafael Landívar.

Instituto Antártico Chileno – INACH. (2006). La Antártica Chilena. Chile. Consultado el 27 de Septiembre de 2012. Disponible en red: <http://www.inach.cl/2012/antartica-nuestra/>

Instituto Antartico Chileno - INACH. (2006). La Antártica Nuestra. Chile. Consultado el 5 de Octubre de 2012. Disponible en red: <http://www.inach.cl/wp-content/uploads/2012/08/AntarticaNuestra01.pdf>

Instituto Geográfico Nacional – INE. (1986). Mapa geológico de la república de Guatemala; hoja geológica Chiantla, No. 1962 IIIG. Guatemala. Esc. 1:500000. Color

Meteucci, S. y Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación Washington, D.C. Serie de Biología. Monografía No 22, 169 págs.

Ovstedal, D. y Smith, L. (2001). Lichens of Antarctica and South Georgia. A guide to their identification and ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 411 pp.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC. (2001). Glosario de términos/ Anexo B. Consultado el 7 de octubre de 2012. Disponible en red: <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

Prensa Libre. (13 de abril de 2012). Efectos del cambio climático preocupan a pobladores. Guatemala, Prensa Libre , pág. 40.

Profesor en línea. (2006). Clima: elementos y factores. Consultado el 28 de Octubre de 2012. Diponible en red: <http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/Clima.htm>

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD. (2007). Huehuetenango: Informe departamental de Desarrollo Humano. Consultado el 29 de Septiembre de 2012. Disponible de red:
<http://cms.fideck.com/userfiles/desarrollohumano.org/Fil/8012325522877692.pdf>
- Sánchez,R. (2007). Antártida. Introducción a un continente remoto. Consultado el 27 de Septiembre de 2012. Disponible en red:
http://www.unep.org/publications/polarbooks/_res/site/file/Antartida/sanchez_excerpts_sp.pdf
- Sancho, L. y Pintado, A. (2004). Evidence of high annual growth rate for Antarctic lichens. Polar Biology. United States. 27:312-319.
- Scasso, R. (2004). Límite de la cuenca Larsen en la península Tabarin, Antártida. Consultado el 29 de Septiembre de 2012. Disponible en red:
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S000448222004000100004&script=sci_arttext
- Scientific Committee on Antarctic Research – SCAR. (2008). La Antártida. Consultado el 1 de Septiembre de 2012. Disponible en red:
<http://www.scar.org/media/pressreleases/141004esprelease.pdf>
- Scientific Committee on Antarctic Research – SCAR. (2004). La Antártida y el Cambio Climático. Consultado el 27 de Septiembre de 2012. Diponible en red:
<http://www.scar.org/media/pressreleases/141004esprelease.pdf>
- Simmons, C., Tarano, J. y Pinto, J. (1959). Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 1000 págs.
- Torres-Mellado, GA., Jaña, R. y Katny, MA. (2011). Antarctic hairgrass expansion in the South Shetland archipelago and Antarctic Peninsula revisited. Chile: Polar Biology. Springer-Verlag.

Tropicos. (2014). Missouri Botanical Garden. Consultado el 17 de julio de 2014.
Disponible en red: <http://www.tropicos.org/>

Turner, J., Bindschadler, RA., Convey, P., Di Prisco, G., Fahrbach, E., Gutt, J., Hodgson, DA., Mayewski, PA. y Summerhayes, CP. (2009) Antarctic climate change and the environment. SCAR, Cambridge. Consultado el 30 de octubre de 2013.
Disponible en red: <http://epic.awi.de/21227/1/Tur2009a.pdf>

Véliz, M. (2000). La Composición florística de la Meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes, Huhuetenango, Guatemala: Herbario BIGUA, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala

Véliz, M. (2013). Determinación, caracterización y evaluación del estado actual y uso de las especies endémicas de Guatemala. Guatemala, Guatemala: Herbario BIGUA, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Consultado el 20 de junio de 2014. Disponible en red: <http://www.bchguatemala.gob.gt/documentos/modulo-informativo-sobre-biodiversidad-local-y/estudios-sobre-especies-endemicas-y-raras-de/Informe%20Proyecto%20FODECYT%202002-2010.pdf>

X. ANEXOS

10.1 Anexo 1, Boleta de campo para análisis de vegetación de la Meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes y para Antártida (Isla Rey Jorge e Isla Robert).

Sierra de los Cuchumatanes y Antártida			
Localidad:			
Parcela:		Coordenadas: N O	
Altitud (m):		Pendiente: (°):	Orientación pendiente (°):
Cobertura (%):	N		Observaciones climáticas:
O		E	
	S		
Especies de vegetación Herbáceas			
1			14
2			15
3			16
4			17
5			18
6			19
7			20
8			21
9			22
10			23
11			24
12			25
13			26

10.2 Anexo 2, Fase campo - Meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes - 2012



Figura 23. Muestreo de la vegetación



Figura 24. Parcela utilizada para el muestreo



Figura 25. Recolección de vegetación



Figura 26. Acercamiento con comunitarios



Figura 27. Determinación taxonómica, etiquetado, montaje y resguardo

10.3 Anexo 3, Ubicación exacta de las localidades de estudio y puntos de muestreo de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes.

Localidades de la meseta alta de la Sierra de los Cuchumatanes	Coordenadas geográficas	
	Latitud	Longitud
Chanchocal I	15°34'17.84"N	91°29'57.75"O
Chanchocal II	15°34'31.80"N	15°34'31.80"N
Bacú	15°35'11.11"N	91°33'6.61"O
Buena Vista	15°34'1.14"N	91°34'31.36"O
Chichun	15°33'32.42"N	91°34'50.29"O
Chenil	15°33'19.67"N	91°34'15.30"O
Chemal	15°31'15.24"N	91°30'20.43"O
Tuisoch	15°30'51.87"N	91°31'2.35"O
La Torre	15°29'50.05"N	91°31'33.99"O
El Bosque	15°32'44.95"N	91°32'46.10"O
Xetalhitán	15°31'50.75"N	91°32'17.55"O
La Pinada	15°30'36.22"N	91°29'56.75"O
Toquía	15°32'29.85"N	91°29'13.07"O

Fuente: Cumes (1995), adaptado por Molina (2014).

10.4 Anexo 4, Fase de campo Isla Rey Jorge e Isla Robert - Antártida

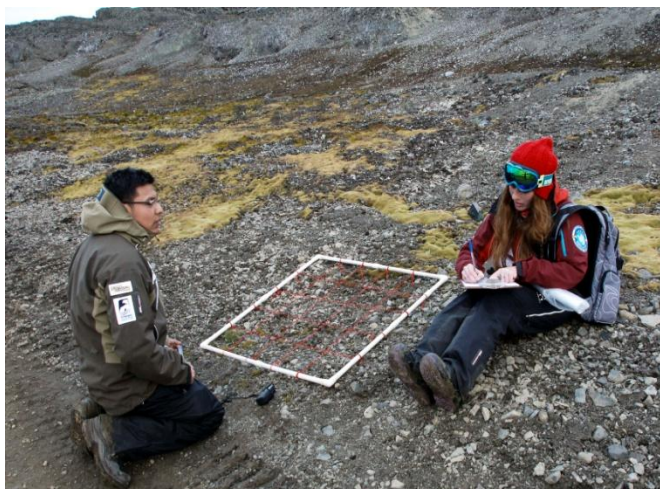


Figura 28. Muestreo de la vegetación

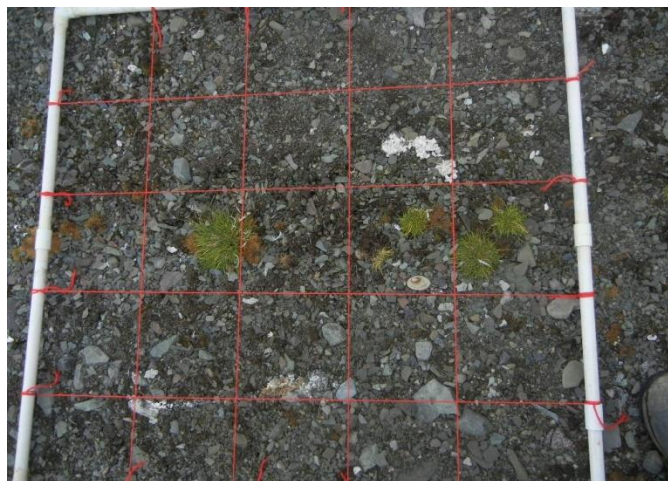


Figura 29. Parcela utilizada para el muestreo



Figura 30 Determinación de *Colobanthus quitensis*

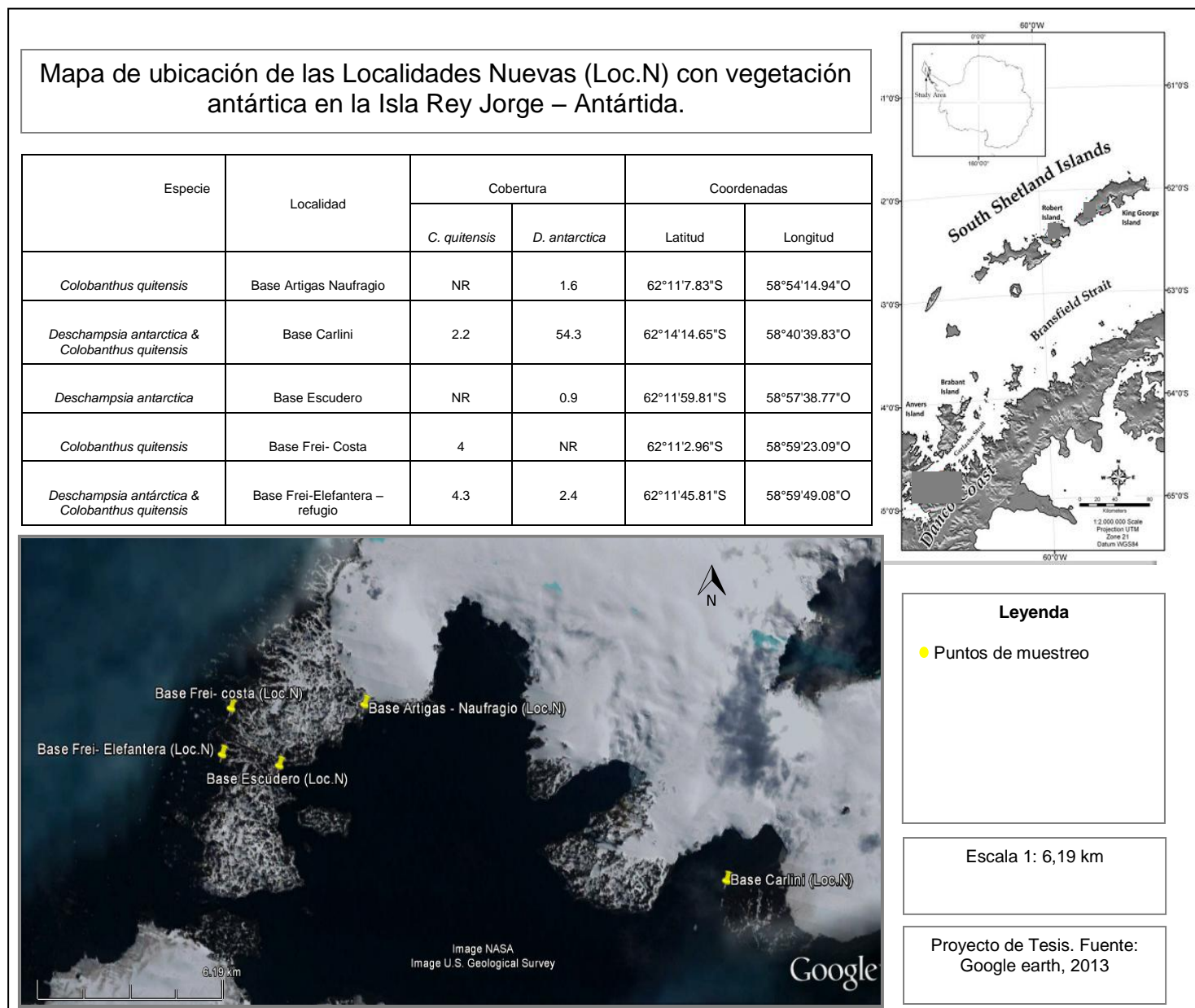


Figura 31. Determinación de *Deschampsia antarctica*



Figura 32. Acercamiento con científicos y militares

10.5 Anexo 5, Ubicación exacta de las Localidades Nuevas (Loc.N) con vegetación antártica.



Fuente: Torres *et al.* (2011), adaptado por Molina (2014).

10.6 Anexo 6, Ubicación exacta de las localidades de estudio y puntos de muestreo de la Isla Rey Jorge e Isla Robert - Antártida.

Localidades de las Islas Shetland del Sur-Antártida	Coordenadas geográficas	
	Latitud	Longitud
Isla Rey Jorge		
Collins Harbour	62°11'0.26"S	58°53'2.95"O
Nebles Point	62°11'5.22"S	58°52'38.55"O
Isla Robert	Latitud	Longitud
1	62°22'36.62"S	59°42'29.72"O
2	62°22'37.14"S	59°42'39.67"O
3	62°22'38.98"S	59°42'46.76"O
4	62°22'41.55"S	59°42'34.94"O
5	62°22'41.21"S	59°42'23.55"O
6	62°22'46.61"S	59°42'22.46"O
7	62°22'57.81"S	59°41'25.73"O
8	62°22'57.00"S	59°41'33.76"O
9	62°23'1.73"S	59°41'31.74"O
10	62°23'27.63"S	59°41'12.77"O
11	62°23'31.44"S	59°41'14.61"O

Fuente: Torres *et al.* (2011), adaptado por Molina (2014).



10.7 Anexo 7, TRATADO ANTÁRTICO

El Tratado fue suscripto el 1ro. de Diciembre de 1959 y entró en vigor
el 23 de Junio de 1961

Los Gobiernos de Argentina, Australia, Bélgica, Chile, la República Francesa, Japón, Nueva Zelandia, Noruega, la Unión del África del Sur, la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y los Estados Unidos de América.

Reconociendo que es en interés de toda la humanidad que la Antártida continúe utilizándose siempre exclusivamente para fines pacíficos y que no llegue a ser escenario u objeto de discordia internacional;

Reconociendo la importancia de las contribuciones aportadas al conocimiento científico como resultado de la cooperación internacional en la investigación científica en la Antártida;

Convencidos de que el establecimiento de una base sólida para la continuación y el desarrollo de dicha cooperación, fundada en la libertad de investigación científica en la Antártida, como fuera aplicada durante el Año Geofísico Internacional, concuerda con los intereses de la ciencia y el progreso de toda la humanidad;

Convencidos, también, de que un Tratado que asegure el uso de la Antártida exclusivamente para fines pacíficos y la continuación de la armonía internacional en la Antártida promoverá los propósitos y principios enunciados en la Carta de las Naciones Unidas,

Han acordado lo siguiente:

ARTÍCULO I

La Antártida se utilizará exclusivamente para fines pacíficos. Se prohíbe entre otras, toda medida de carácter militar, tal como el establecimiento de bases y fortificaciones militares, la realización de maniobras militares, así como los ensayos de toda clase de armas.

El presente Tratado no impedirá el empleo de personal o equipo militares, para investigaciones científicas o para cualquier otro fin pacífico.

ARTÍCULO II

La libertad de investigación científica en la Antártida y la cooperación hacia ese fin, como fueran aplicadas durante el Año Geofísico Internacional, continuarán, sujetas a las disposiciones del presente Tratado.

ARTÍCULO III

1. Con el fin de promover la cooperación internacional en la investigación científica en la Antártida, prevista en el Artículo II del presente Tratado, las Partes Contratantes acuerdan proceder, en la medida más amplia posible:

(a) al intercambio de información sobre los proyectos de programas científicos en la Antártida, a fin de permitir el máximo de economía y eficiencia en las operaciones;

(b) al intercambio de personal científico entre las expediciones y estaciones en la Antártida;

(c) al intercambio de observaciones y resultados científicos sobre la Antártida, los cuales estarán disponibles libremente;

Al aplicarse este artículo se dará el mayor estímulo a establecimiento de relaciones cooperativas de trabajo con aquellos Organismos Especializados de las Naciones Unidas y con otras organizaciones internacionales que tengan interés científico o técnico en la Antártida.

ARTÍCULO IV

1. Ninguna disposición del presente Tratado se interpretará:

(a) como una renuncia, por cualquiera de las Partes contratantes, a sus derechos de soberanía territorial o a las reclamaciones territoriales en la Antártida, que hubiere hecho valer precedentemente;

(b) como una renuncia o menoscabo, por cualquiera de las Partes Contratantes, a cualquier fundamento de reclamación de soberanía territorial en la Antártida que pudiera tener, ya sea como resultado de sus actividades o de las de sus nacionales en la Antártida, o por cualquier otro motivo;

(c) como perjudicial a cualquiera de las Partes Contratantes, en lo concerniente a su reconocimiento o no reconocimiento del derecho de soberanía territorial, de una reclamación o de un fundamento de reclamación de soberanía territorial de cualquier Estado en la Antártida.

2. Ningún acto o actividad que se lleve a cabo mientras el presente Tratado se halle en vigencia constituirá fundamento para hacer valer, apoyar o negar una reclamación de soberanía territorial en la Antártida, ni para crear derechos de soberanía en esta región. No se harán nuevas reclamaciones anteriormente hechas valer, mientras el presente Tratado se halle en vigencia.

ARTÍCULO V

1. Toda explosión nuclear en la Antártida y la eliminación de desechos radioactivos en dicha región quedan prohibidas.

2. En caso de que se concluyan acuerdos internacionales relativos al uso de la energía nuclear, comprendidas las explosiones nucleares y la eliminación de desechos radioactivos, en los que sean Partes todas las Partes Contratantes cuyos representantes estén facultados a participar en las reuniones previstas en el Artículo IX, las normas establecidas en tales acuerdos se aplicarán en la Antártida.

ARTÍCULO VI

Las disposiciones del presente Tratado se aplicarán a la región situada al sur de los 60° de latitud sur, incluidas todas las barreras de hielo; pero nada en el presente Tratado perjudicará o afectará en modo alguno los derechos o el ejercicio de los derechos de cualquier Estado conforme al Derecho Internacional en lo relativo a la alta mar dentro de esa región.

ARTÍCULO VII

1. Con el fin de promover los objetivos y asegurar la aplicación de las disposiciones del presente Tratado, cada una de las Partes Contratantes, cuyos representantes estén facultados a participar en las reuniones a que se refiere el Artículo IX de este Tratado, tendrá derecho a designar observadores para llevar a cabo las inspecciones previstas en el presente Artículo. Los observadores serán nacionales de la Parte Contratante que los designa. Sus nombres se comunicarán a cada una de las demás Partes Contratantes que tienen derecho a designar observadores, y se les dará igual aviso cuando cesen en sus funciones.

2. Todos los observadores designados de conformidad con las disposiciones del párrafo 1 de este Artículo gozarán de entera libertad de acceso, en cualquier momento, a cada una y a todas las regiones de la Antártida.

3. Todas las regiones de la Antártida, y todas las estaciones, instalaciones y equipos que allí se encuentren, así como todos los navíos y aeronaves, en los puntos de embarque y desembarque de personal o de carga en la Antártida, estarán abiertos en todo momento a la inspección por parte de cualquier observador designado de conformidad con el párrafo 1 de este artículo.

4. La observación aérea podrá efectuarse, en cualquier momento, sobre cada una y todas las regiones de la Antártida por cualquiera de las Partes Contratantes que estén facultadas a designar observadores.

5. Cada una de las Partes Contratantes, al entrar en vigencia respecto de ella el presente Tratado, informará a las otras Partes Contratantes y, en lo sucesivo, les informará por adelantado sobre:

(a) toda expedición a la Antártida y dentro de la Antártida en la que participen sus navíos o nacionales, y sobre todas las expediciones a la Antártida que se organicen o partan de su territorio;

(b) todas las estaciones en la Antártida ocupadas por sus nacionales, y

(c) Todo personal o equipo militares que se proyecte introducir en la Antártida, con sujeción a las disposiciones del párrafo 2 del Artículo 1 del presente Tratado.

ARTÍCULO VIII

1. Con el fin de facilitarles el ejercicio de las funciones que les otorga el presente Tratado, y sin perjuicio de las respectivas posiciones de las Partes Contratantes, en lo que concierne a la jurisdicción sobre todas las demás personas en la Antártida, los observadores designados de acuerdo con el párrafo 1 del Artículo VII y el personal científico intercambiado de acuerdo con el subpárrafo 1 b) del Artículo III del Tratado, así como los miembros del personal acompañante de dichas personas, estarán

sometidos sólo a la jurisdicción de la Parte Contratante de la cual sean nacionales, en lo referente a las acciones u omisiones que tengan lugar mientras se encuentren en la Antártida con el fin de ejercer sus funciones.

2. Sin perjuicio de las disposiciones del párrafo 1 de este Artículo, y en espera de la Adopción de medidas expresadas en el subpárrafo 1 e) del Artículo IX, las Partes Contratantes, implicadas en cualquier controversia con respecto al ejercicio de la jurisdicción en la Antártida, se consultarán inmediatamente con el ánimo de alcanzar una solución mutuamente aceptable.

ARTÍCULO IX

1. Los representantes de las Partes Contratantes, nombradas en el preámbulo del presente Tratado se reunirán en la ciudad de Canberra dentro de los dos meses después de la entrada en vigencia del presente Tratado y, en adelante, a intervalos y en lugares apropiados, con el fin de intercambiar informaciones, consultarse mutuamente sobre asuntos de interés común relacionados con la Antártida, y formular, considerar y recomendar a sus Gobiernos medidas para promover los principios y objetivos del presente Tratado, inclusive medidas relacionadas con:

- a) uso de la Antártida para fines exclusivamente pacíficos;
- b) facilidades para la investigación científica en la Antártida;
- c) facilidades para la cooperación científica internacional en la Antártida;
- d) facilidades para el ejercicio de los derechos de inspección previstos en el Artículo VII del presente Tratado;
- e) cuestiones relacionadas con el ejercicio de la jurisdicción en la Antártida;
- f) protección y conservación de los recursos vivos de la Antártida.

2. Cada una de las Partes Contratantes que haya llegado a ser Parte del presente Tratado por adhesión, conforme al Artículo XIII, tendrá derecho a nombrar representantes que participarán en las reuniones mencionadas en el párrafo 1 del presente Artículo, mientras dicha Parte Contratante demuestre su interés en la

Antártida mediante la realización en ella de investigaciones científicas importantes, como el establecimiento de una estación científica o el envío de una expedición científica.

3. Los informes de los observadores mencionados en el Artículo VII del presente Tratado serán transmitidos a los representantes de las Partes Contratantes, que participen en las reuniones a que se refiere el párrafo 1 del presente artículo.

4. Las medidas contempladas en el párrafo 1 de este artículo entrarán en vigencia cuando las aprueben todas las Partes Contratantes, cuyos representantes estuvieron facultados a participar en las reuniones que se celebraron para considerar esas medidas.

5. Cualquiera o todos los derechos establecidos en el presente Tratado podrán ser ejercidos desde la fecha de su entrada en vigencia, ya sea que las medidas para facilitar el ejercicio de tales derechos hayan sido o no propuestas, consideradas o aprobadas conforme a las disposiciones de este artículo.

ARTÍCULO X

Cada una de las Partes Contratantes se compromete a hacer los esfuerzos apropiados, compatible con la carta de las Naciones Unidas, con el fin de que nadie lleve a cabo en la Antártida ninguna actividad contraria a los propósitos y principios del presente Tratado.

ARTÍCULO XI

1. En caso de surgir una controversia entre dos o más de las Partes Contratantes, concerniente a la interpretación o a la aplicación del presente Tratado, dichas Partes Contratantes se consultarán entre sí con el propósito de resolver la controversia por negociación, investigación, mediación, conciliación, arbitraje, decisión judicial u otros medios pacíficos, a su elección.

2. Toda controversia de esa naturaleza, no resuelta por tales medios, será referida a la Corte Internacional de Justicia, con el consentimiento, en cada caso, de todas las partes en controversia para su resolución; pero la falta de acuerdo para referirla a la Corte Internacional de Justicia no dispensará a las partes en controversia de la responsabilidad de seguir buscando una solución por cualquiera de los diversos medios pacíficos contemplados en el párrafo 1 de este Artículo.

ARTÍCULO XII

1. a) El presente Tratado podrá ser modificado o enmendado, en cualquier momento, con el consentimiento unánime de las Partes Contratantes, cuyos representantes estén facultados a participar en las reuniones previstas en el Artículo IX. Tal modificación o tal enmienda entrará en vigencia cuando el Gobierno depositario haya sido notificado por la totalidad de dichas Partes Contratantes de que las han ratificado.

b) subsiguientemente, tal modificación o tal enmienda entrará en vigencia, para cualquier otra Parte Contratante, cuando el Gobierno depositario haya recibido aviso de su ratificación. Si no se recibe aviso de ratificación de dicha Parte Contratante dentro del plazo de dos años, contados desde la fecha de entrada en vigencia de la modificación o enmienda, en conformidad con lo dispuesto en el subpárrafo 1 a) de este Artículo, se la considerará como habiendo dejado de ser Parte del presente Tratado en la fecha de vencimiento de tal plazo.

2. a) Si después de expirados treinta años, contados desde la fecha de entrada en vigencia del presente Tratado, cualquiera de las Partes Contratantes, cuyos representantes estén facultados a participar en las reuniones previstas en el Artículo IX, así lo solicita, mediante una comunicación dirigida al Gobierno depositario, se celebrará, en el menor plazo posible, una Conferencia de todas las Partes Contratantes para revisar el funcionamiento del presente Tratado.

b) Toda modificación o enmienda al presente Tratado, aprobada en tal conferencia por la mayoría de las Partes Contratantes en ella representadas, incluyendo la mayoría de aquellas cuyos representantes están facultados a participar en las reuniones previstas en el Artículo IX, se comunicará a todas las Partes Contratantes por el Gobierno depositario, inmediatamente después de finalizar la Conferencia, y entrará en vigencia de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 1 del presente Artículo.

c) Si tal modificación o tal enmienda no hubiere entrado en vigencia, de conformidad con lo dispuesto en el subpárrafo 1 a) de este Artículo, dentro de un período de dos años, contados desde la fecha de su comunicación a todas las Partes Contratantes, cualquiera de las Partes Contratantes podrá, en cualquier momento, después de la expiración de dicho plazo, informar al Gobierno depositario que ha dejado de ser parte del presente Tratado, y dicho retiro tendrá efecto dos años después que el Gobierno depositario haya recibido esta notificación.

ARTÍCULO XIII

1. El presente Tratado estará sujeto a la ratificación por parte de los estados signatarios. Quedará abierto a la adhesión de cualquier Estado que sea miembro de las Naciones Unidas, o de cualquier otro Estado que pueda ser invitado a adherirse al Tratado con el consentimiento de todas las Partes Contratantes cuyos representantes estén facultados a participar en las reuniones previstas en el Artículo IX del Tratado.

2. La ratificación del presente Tratado o la adhesión al mismo será efectuada por cada Estado de acuerdo con sus procedimientos constitucionales.

3. Los instrumentos de ratificación y los de adhesión serán depositados ante el Gobierno de los Estados Unidos de América, que será el Gobierno depositario.

4. El Gobierno depositario informará a todos los Estados signatarios y adherentes sobre la fecha de depósito de cada instrumento de ratificación o de adhesión y sobre la fecha de entrada en vigencia del Tratado y de cualquier modificación o enmienda al mismo.

5. Una vez depositados los instrumentos de ratificación por todos los Estados signatarios, el presente Tratado entrará en vigencia para dichos Estados y para los Estados; que hayan depositado sus instrumentos de adhesión. En lo sucesivo, el Tratado entrará en vigencia para cualquier Estado adherente una vez que deposite su instrumento de adhesión.

6. El presente Tratado será registrado por el Gobierno depositario conforme al Artículo 102 de la Carta de las Naciones Unidas.

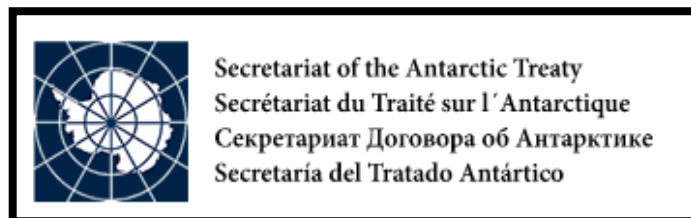
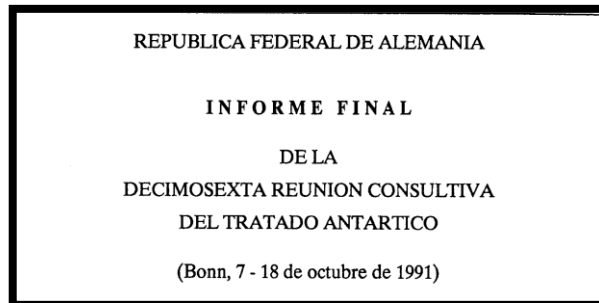
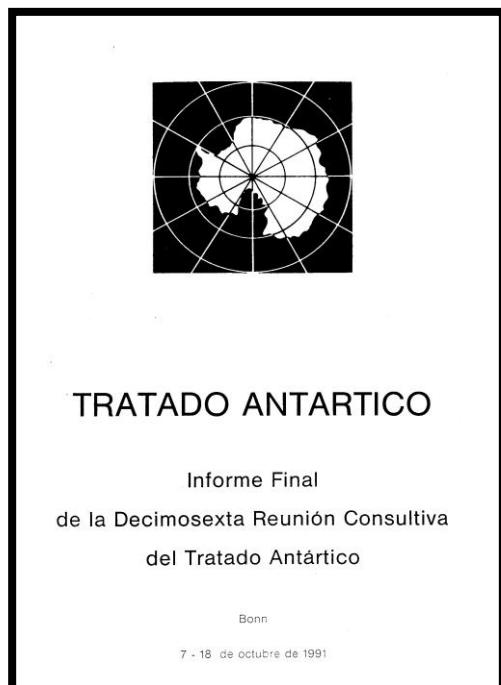
ARTÍCULO XIV

El presente Tratado, hecho en los idiomas inglés, francés, ruso y español, siendo cada uno de estos textos igualmente auténtico, será depositado en los Archivos del Gobierno de los Estados Unidos de América, el que enviará copias debidamente certificadas del mismo a los Gobiernos de los Estados signatarios y de los adherentes.

EN TESTIMONIO DE LO CUAL, los infrascritos Plenipotenciarios, debidamente autorizados, suscriben el presente Tratado.

HECHO en Washington, el primero de diciembre de mil novecientos cincuenta y nueve.

10.8 Anexo 8, Adherencia de Guatemala al Tratado Antártico



16. El Jefe de la Delegación de Estados Unidos, Sr. Tucker Skully, en calidad de representante del Gobierno Depositario del Tratado Antártico, presentó un informe. Dio la bienvenida a Suiza y Guatemala, Estados que se adhirieron al Tratado desde la XV Reunión Consultiva del Tratado Antártico. El cuadro referente al estado de las recomendaciones adoptadas en conformidad con el Artículo IX del Tratado figura en el Anexo B (iv).



FICHA DE LA PUBLICACION	
TIPO DE DOCUMENTO	DECRETO DEL CONGRESO
NUMERO DEL DOCUMENTO	37-91
FECHA DE EMISION	18/04/1991
CONTENIDO	Aprueba el Tratado Antártico creado el 1 de diciembre de 1959 y se autoriza al Gobierno de la República para adherirse al mismo, en nombre del Estado de Guatemala.
EMISOR	*CONGRESO DE LA REPUBLICA
ENTIDAD ASIGNADA	CONGRESO DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA
FUENTE	Diario de Centro América Tómo: CCXLI Número: 19 Página: 394
MATERIA DEL DERECHO	