

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales**



**Informe Final**

**Elaboración de un Instrumento para el Monitoreo Ambiental, basado en la  
Cartografía de la Biodiversidad Gama de las Zonas de Vida Vegetal de  
Suchitepéquez y Retalhuleu.**

**Ing. Agr. M.Sc. Martín Salvador Sánchez Cruz (Coordinador Proyecto)  
T.P.A Pedro Luswig Camey Martínez (Auxiliar de Investigación I)  
T.P.A. Ana María Camey Martínez (Auxiliar de Investigación II)**

**Guatemala, 19 de noviembre de 2009  
Centro Universitario del Sur Occidente  
Instituto de Investigaciones y Desarrollo del Sur Occidente**

## Índice General

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| I.    | Introducció                | 1  |
| II.   | Antecedentes               | 2  |
| III.  | Justificació               | 3  |
| IV.   | Objetivos                  | 4  |
| 1.    | Objetivo general           | 4  |
| 2.    | Objetivos específicos      | 4  |
| V.    | Metodología                | 5  |
| VI.   | Presentación de resultados | 6  |
| 1.    | Biotemperatura             | 6  |
| 2.    | Precipitación              | 12 |
| 3.    | Zona de vida vegetal       | 14 |
| 4.    | Biodiversidad              | 17 |
| VII.  | Discusión                  | 18 |
| VIII. | Conclusión                 | 20 |
| IX.   | Recomendaciones            | 21 |
| X.    | Bibliografía               | 22 |

## Índice de Ilustraciones

### Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| 1. Modelos de predicción de la biotemperatura en función de la altitud.  | 10 |
| 2. Modelo cúbico para estimar la biotemperatura en función de la altitud en Suchitepéquez y Retalhuleu.  | 11 |
| 3. Distribución de la precipitación en función de la latitud en metros norte.  | 12 |
| 4. Modelo cuadrático para estimar la precipitación media anual en función de la altitud.   | 13 |
| 5. Modelo ajustado cuadrático lineal para estimar la precipitación media anual en función de la latitud.   | 14 |
| 6. Ploteo de puntos de intersección de la cuadrícula UTM sobre los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.  | 15 |
| 7. Determinación de la zona de vida vegetal según el Dr. Leslie Holdridge. La línea roja representa el recorrido de los puntos de intersección de la cuadrícula UTM. | 16 |
| 8. Zonas de vida vegetal determinadas para Suchitepéquez y Retalhuleu.   | 17 |

## Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| 1. Compilación información climatológica estaciones INSIVUMEH.                                  | 6  |
| 2. Biotemperatura calculada en función de la altitud empleando los modelos lineal y cuadrático. | 9  |
| 3. Precipitación media anual mm observada.  | 12 |

## Resumen

La presente investigación fue para elaborar un instrumento que ayude a monitorear el impacto de proyectos ecológicos en formaciones vegetales de los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.

Esencialmente el instrumento se basa en modelos matemáticos. Se determinó que para el caso de Suchitepéquez y Retalhuleu las variables de biotemperatura, relación de evapotranspiración y biodiversidad alfa pueden ser estimados por medio de la altitud.

La biodiversidad beta es la primera derivada del modelo altitud biodiversidad alfa y la biodiversidad gama será la integral para un rango de altitudes dado.

Para estimar la biodiversidad gama referencial de un sitio en evaluación se calcula la biodiversidad gama para cada rango altitudinal considerado y luego se pondera en función del área que le corresponde a cada rango altitudinal.

Luego se procede a medir la biodiversidad gama del sitio y se compara con la biodiversidad calculada para estimar el estado de las formaciones vegetales.

## **I. Introducción**

Las sociedades actuales poco a poco, cada una a su ritmo, han ido tomando conciencia de la necesidad de proteger el ambiente, para asegurar su propia supervivencia, así como para mejorar su calidad de vida. En este entorno la gestión ambiental local se perfila como un medio efectivo, para que las comunidades interesadas puedan identificar y satisfacer sus necesidades dentro del ámbito de un desarrollo sostenible. La Universidad de San Carlos de Guatemala congruente con sus objetivos de descentralización le corresponde formar personal capacitado en gestión ambiental en diferentes regiones del país para que coadyuven en la solución de problemas locales; también le corresponde asesorar a la sociedad con dictámenes científicos sobre los problemas ambientales; así como la generación de tecnología y conocimientos nuevos que apoyen a los gestores ambientales en su labor. Para evaluar el impacto de las acciones realizadas por la gestión ambiental local se requiere de parámetros que puedan medirse objetivamente y que rindan información que permita tomar decisiones sobre la base de datos y no de opiniones subjetivas. En el Centro Universitario del Sur Occidente con el ánimo de apoyar la nueva carrera en Gestión Ambiental Local, que comenzará a servirse en el 2008, se desea desarrollar un instrumento que sirva para evaluar y dar seguimiento a los cambios resultantes en los ecosistemas de la región de influencia del Centro Universitario, es decir los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.

## II. Antecedentes

Moreno, C. E. (2001) indica que el estudio de la diversidad gama, resultante del conjunto de comunidades que forman un paisaje, resulta particularmente útil cuando se pretende cuantificar o monitorear el cambio en la biodiversidad de especies como resultado de perturbaciones o modificaciones en los ecosistemas. Los paisajes pueden ser cartografiados dentro de zonas de vida vegetales, lo que implica que todos los paisajes que se localicen dentro de una misma zona de vida deberían mostrar valores de biodiversidad equivalentes. Entonces cuando se observen valores de biodiversidad muy distintos entre paisajes que pertenecen a la misma zona de vida, se puede asumir que esta variación observada se debe a perturbaciones o a modificaciones en los ecosistemas capaces de afectar más o menos profundamente su fisonomía. El índice de deterioro propuesto por Holdridge L. (1977) estima el deterioro de una asociación degradada, comparando su índice de complejidad con el de una asociación climática. El Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), 2006 en su Perfil Ambiental de Guatemala indican que para los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu ya no existe cobertura boscosa y el índice de demanda de tierras es uno de los más altos del país, por lo que actualmente ya no es posible encontrar ninguna comunidad climática para emplearla como parámetro de comparación. ¿Entonces cómo puede estimarse el deterioro ambiental en una región disturbada en donde no existe ya ninguna comunidad pristina que pueda servir como patrón de comparación?

Holdridge, L. (1977) en su Sistema de Clasificación de Zonas de Vida Vegetal sugiere que la complejidad y biodiversidad de las asociaciones cambia logarítmicamente de manera sincrónica a los gradientes de biotemperatura y humedad, sin embargo no propone una tasa de recambio de especies que pueda ser empleada como base. De ser posible calcular la tasa de recambio de especies entre paisajes a lo largo de los gradientes ambientales de biotemperatura y humedad sería posible calcular a partir de datos climáticos, la biodiversidad que una comunidad o un paisaje podrían llegar a desarrollar. Entonces al comparar la biodiversidad real medida en el campo, contra la biodiversidad calculada podría estimarse un índice de deterioro o de recuperación el cual puede servir para el monitoreo ambiental. ¿Pero realmente existe una tasa de recambio de especies entre los paisajes que se distribuyen a lo largo de los gradientes de biotemperatura y humedad y si existe podrá ser calculada en un ambiente completamente disturbado? Otra opción es fijar una línea base del estado actual de los paisajes en el año 2008 y a partir de ahí determinar si los procesos son de degradación o de recuperación.

### **III. Justificación**

Esta investigación tiene dos aspectos, el primero de extensión y servicio en donde el principal interés es aportar un instrumento que esencialmente permita:

- Medir la biodiversidad gama en un conjunto complejo de comunidades (paisajes) en un momento dado.
- Estimar el índice de degradación o de recuperación de los paisajes.
- Cartografiar la biodiversidad de los paisajes estudiados.
- Monitorear o dar seguimiento a los cambios en biodiversidad a través del tiempo.

Con esta metodología los grupos gestores tendrían un índice de referencia para fijar un estado ambiental deseado, ordenar el uso de la tierra y planificar acciones estratégicas, las cuales a su vez serían susceptibles de ser evaluadas a lo largo de su ejecución. También sería posible establecer una red de monitoreo ambiental que sirva como sistema de alerta para tomar acciones correctivas para evitar la degradación ambiental. Al final la aplicación de esta metodología se traduciría en una mejora en la calidad de vida de todos los habitantes de Suchitepéquez y Retalhuleu. Sin este instrumento la planificación de la gestión ambiental sería más difícil y probablemente sin un objetivo bien definido a largo plazo.

El segundo aspecto de esta investigación es académico, en donde dentro del marco que define el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PUIRNA), con su Línea Prioritaria de Biodiversidad y ecosistemas que incluyen los Ejes temáticos de Estudio de la diversidad biológica de ecosistemas tropicales y subtropicales y el Estudio de biomas y zonas de vida; se pretende validar la existencia de una tasa de recambio de especies que puede ser calculada matemáticamente entre paisajes distribuidos a lo largo de gradientes de biotemperatura y humedad que definen a las zonas de vida vegetal.



#### **IV. Objetivos**

##### **a. General**

Elaborar un Instrumento para el Monitoreo Ambiental, basado en la Cartografía de la Biodiversidad Gama de las Zonas de Vida Vegetal de Suchitepéquez y Retalhuleu.

##### **b. Específicos**

- i. Elaborar un mapa GIS escala 1:250,000 con capas de información sobre biotemperatura, precipitación, relación de evapotranspiración, zonas de vida vegetal, biodiversidad alfa, beta y gama que pueda usarse como modelo de predicción, si se modifica alguna de las variables.
- ii. Desarrollar un índice de degradación comparando la biodiversidad observada contra la biodiversidad calculada en función de la biotemperatura y la humedad o en su defecto desarrollar un índice de degradación o recuperación en función de la línea base del estado actual de la biodiversidad en el año 2008.

## **V. Metodología**

La investigación comprende tres fases, la primera comprende el mapeo de los paisajes dentro de las zonas de vida para definir el universo muestral; la segunda fase es el trabajo de campo o levantamiento de las muestras y finalmente la tercera fase comprenderá el análisis de la información.

### **a. Elaboración de un Mapa Corregido de las Zonas de Vida Vegetal.**

- i. Las zonas de vida vegetal se determinan a partir de los datos de temperatura y precipitación los cuales se procesan para obtener la biotemperatura y la relación de evapotranspiración que son los parámetros que se emplean en el diagrama de Holdridge. La compilación de datos de temperatura, humedad, latitud, longitud y altitud de todas las estaciones disponibles es la primera prioridad.
- ii. El paso siguiente es el procesamiento de los datos brutos para obtener temperaturas medias mínimas y máximas mensuales o en su defecto temperatura media anual y precipitación media anual. Para el caso de estaciones viejas, ya descontinuadas sus valores pueden ser actualizados por medio del análisis de doble masa.
- iii. Con los datos ya estandarizados se procede a calcular la biotemperatura y la relación de evapotranspiración para determinar la zona de vida vegetal para cada estación.
- iv. Con los datos de temperatura estandarizados se procederá a establecer el gradiente térmico para la zona y la relación entre la biotemperatura reducida a nivel del mar y la latitud. También la relación entre temperatura media y la biotemperatura.
- v. Se trazará una cuadrícula de 10 Km<sup>2</sup> y se sobrepondrá sobre el mapa hipsométrico de los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu y se calculará la latitud, longitud y altitud para cada punto de intersección; luego empleando las relaciones anteriormente determinadas y un mapa de isoyetas se calculará la biotemperatura, la relación de evapotranspiración y la zona de vida vegetal para cada punto.
- vi. Se formará una base de datos de puntos de los cuales se conocerá su latitud, longitud, altitud, temperatura media anual, precipitación media anual, biotemperatura, relación de evapotranspiración y zona de vida vegetal. Esta base de datos le será proporcionada a un experto en sistemas de información geográfica para que elabore un mapa de zonas de vida de los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu escala 1:250,000. Los límites de las zonas de vida serán validados con recorridos de campo y con la ayuda de un GPS.

## VI. Presentación de Resultados

### 1. Biotemperatura:

El primer paso fue la compilación de la información climática proporcionada por en INSIVUMEH. En el cuadro 1 se presenta el resumen de la compilación de datos climáticos

**Cuadro 1. Compilación información climatológica estaciones INSIVUMEH.**

| No. | Estación             |                     | Longitud metros este (UTM) | Latitud metros norte (UTM) | Elevación MSNM | Precipitación media anual | Temperatura máxima media mensual | Temperatura media mensual | Temperatura mínima media mensual | Biotemperatura observada |
|-----|----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 17  | MOOCA                | Champerico          | 617444                     | 1580751                    | 5              | 570.58                    |                                  |                           |                                  |                          |
| 25  | Las Delicias         | San Jose Aeropuerto | 733974                     | 1541726                    | 6              | 1117.47                   | 33.43                            | 26.74                     | 20.04                            | 25.02                    |
| 29  | Peña Plata           | Las Mercedes        | 751919                     | 1561266                    | 30             | 1261.00                   | 33.50                            |                           | 20.04                            | 25.02                    |
| 40  | San Jose Aereopuerto | La Esperanza        | 620611                     | 1595085                    | 40             | 1657.86                   | 29.20                            |                           | 12.86                            | 21.03                    |
| 41  | Los Tarros           | Nva. Concepción     | 683342                     | 1568576                    | 50             | 1224.80                   | 34.96                            |                           | 20.00                            | 25.00                    |
| 42  | Camantulul           | La Maquina          | 654803                     | 1582122                    | 100            | 749.29                    |                                  |                           |                                  |                          |
| 77  | Monte Grande         | Sta María Fe        | 733126                     | 1572000                    | 125            | 2032.44                   |                                  |                           |                                  |                          |
| 78  | Culpan               | Rio Bravo Fe        | 680293                     | 1592312                    | 151            | 2945.81                   |                                  |                           |                                  |                          |
| 80  | La Violeta           | Las Delicias Xela   | 642020                     | 1600883                    | 160            | 2535.67                   | 36.15                            |                           | 16.17                            | 23.08                    |
| 81  | San Jeronimo Quetzal | Reu Aereopuerto     | 640525                     | 1605853                    | 205            | 2540.60                   | 35.34                            | 26.65                     | 19.09                            | 24.55                    |
| 82  | Sta.Marta Puca       | El Obispo           | 720042                     | 1576340                    | 220            | 3072.69                   |                                  |                           |                                  |                          |
| 90  | Las Delicias Reu     | Palo Gordo          | 671355                     | 1602483                    | 240            | 1945.29                   |                                  |                           |                                  |                          |
| 91  | Retalhuleu           | Camantulul          | 710410                     | 1584434                    | 280            | 3543.00                   | 33.42                            | 24.73                     | 17.55                            | 23.78                    |
| 92  | Las Fuentes          | Villa Juan Carlos   | 653984                     | 1607962                    | 334            | 14180.97                  | 35.11                            |                           | 19.54                            | 24.77                    |

|     |                    |                     |        |         |      |         |       |       |       |       |
|-----|--------------------|---------------------|--------|---------|------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 93  | San Luis           | Sta Lucia           | 713907 | 1585509 | 340  | 1984.44 |       |       |       |       |
| 94  | El Tambor          | Monte Grande        | 616186 | 1625177 | 340  | 3520.06 |       |       |       |       |
| 95  | Los Brillantes     | Los Brillantes      | 648883 | 1609928 | 345  | 3312.81 | 33.27 | 26.46 | 20.23 | 25.11 |
| 118 | Sto. Tomas Perdido | Dolores             | 637125 | 1619693 | 355  | 570.58  |       |       |       |       |
| 120 | El Capitan         | Chojaja             | 662319 | 1608569 | 430  | 3522.11 | 33.46 | 26.18 | 15.20 | 22.60 |
| 121 | San Pedro          | San Luis Retalhuleu | 648248 | 1615886 | 460  | 3913.98 |       |       |       |       |
| 122 | Santiago Atitlán   | Chinam              | 678681 | 1608068 | 480  | 4496.66 |       |       |       |       |
| 123 | Chojaja            | las Fuentes         | 647911 | 1617083 | 520  | 4131.63 |       |       |       |       |
| 124 | Villa San Carlos   | Peña                | 706007 | 1598506 | 620  | 3403.54 | 28.84 |       | 18.55 | 23.70 |
| 125 | La Abundancia      | La Abundancia.      | 675205 | 1612745 | 620  | 4344.07 |       |       |       |       |
| 126 | Los Angeles        | El Tambor           | 649334 | 1619396 | 640  | 3768.20 |       |       |       |       |
| 128 | El Vesubio         | Los Tarros          | 716363 | 1592600 | 700  | 4607.81 |       |       |       |       |
| 129 | La Concha          | Sta Marta Xela      | 652286 | 1620982 | 760  | 4580.36 |       |       |       |       |
| 130 | Palo Gordo FICA    | Sn Fco Miramar      | 693441 | 1604306 | 810  | 3162.07 |       |       |       |       |
| 131 | Las Nubes          | Moca                | 690063 | 1607446 | 940  | 4573.96 | 31.33 |       | 13.81 | 21.91 |
| 132 | Chinam             | Las Delicias        | 713364 | 1606869 | 1000 | 2709.86 |       |       |       |       |
| 133 | MOCA Such.         | San Jeronimo        | 633853 | 1626989 | 1000 | 4151.47 |       |       | 16.28 | 8.14  |
| 134 | Sn Fco. Miramar    | Moca Alta Verapaz   | 186014 | 1700237 | 1020 | 3961.34 | 27.73 |       | 14.22 | 20.97 |
| 154 | Sta. Margarita     | Las Nubes           | 661894 | 1620367 | 1200 | 4579.58 | 28.28 |       | 11.24 | 19.76 |
| 160 | Las Mercedes       | Sto Tomas Perdido   | 701926 | 1613996 | 1243 | 2238.44 | 29.13 |       | 12.19 | 20.66 |
| 161 | Obispo             | La Violeta          | 636999 | 1631431 | 1280 | 3192.83 | 30.18 |       |       |       |
| 164 | Sta. María FEGUA   | Sta Margarita       | 781671 | 1711664 | 1316 | 2250.79 | 30.03 |       | 10.88 | 20.44 |

|     |                  |                       |        |         |      |         |       |       |       |       |
|-----|------------------|-----------------------|--------|---------|------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 165 | Sta. Lucia Finca | Culpan                | 641049 | 1629181 | 1371 | 3384.81 | 25.55 |       | 13.31 | 19.43 |
| 166 | Cía Agricola     | El Vesubio            | 698044 | 1609076 | 1440 | 2528.33 |       |       |       |       |
| 167 | Nueva Concepción | Sta Maria Xela        | 658642 | 1628152 | 1550 |         |       |       |       |       |
| 201 | Santa Maria      | El Capital Sololá     | 700263 | 1619669 | 1562 | 1181.69 | 22.92 | 19.03 | 4.60  | 13.76 |
| 207 | La esperanza     | Santa Clara la Laguna | 690487 | 1618330 | 1580 | 954.49  | 27.29 | 18.78 | 10.35 | 18.82 |
| 208 | Champerico FEGUA | San Pedro             | 686129 | 1624659 | 1600 | 1069.20 | 29.60 |       | 10.11 | 19.85 |
| 209 | Dolores          | Los Angeles           |        |         |      | 4536.49 | 31.61 |       | 14.69 | 22.35 |
| 222 | La Máquina       | La Concha             |        |         |      | 2614.21 | 31.23 | 23.88 | 17.80 | 23.90 |

**Fuente: INSIVUMEH (2008)**

Se correlacionó la biotemperatura con la latitud y la altitud empleando un modelo lineal, pero el coeficiente de correlación fue muy bajo y curiosamente al desplazarse la latitud hacia el norte la biotemperatura se incrementa en lugar de bajar. Se encontró que se obtenía un mejor modelo cuando se correlacionaba solamente la biotemperatura con la altitud, así se probaron los modelos lineal y cuadrático pero los coeficientes de correlación aún no eran satisfactorios. A continuación se presenta la ecuación 1 obtenida para el modelo lineal y la ecuación 2 para el modelo cuadrático. El cuadro 2 y la figura 1 fueron elaborados en base a estas dos ecuaciones.

Ecuación 1 modelo Lineal,  $R^2 = 0.7681$ :

$$\text{Biotemperatura} = -0.0037585 x + 25.2336135$$

Ecuación 2 modelo Cuadrático,  $R^2 = 0.7945$ :

$$\text{Biotemperatura} = -2.2859 \cdot 10^{-06} x^2 + 0.00055968x + 24.6213874$$

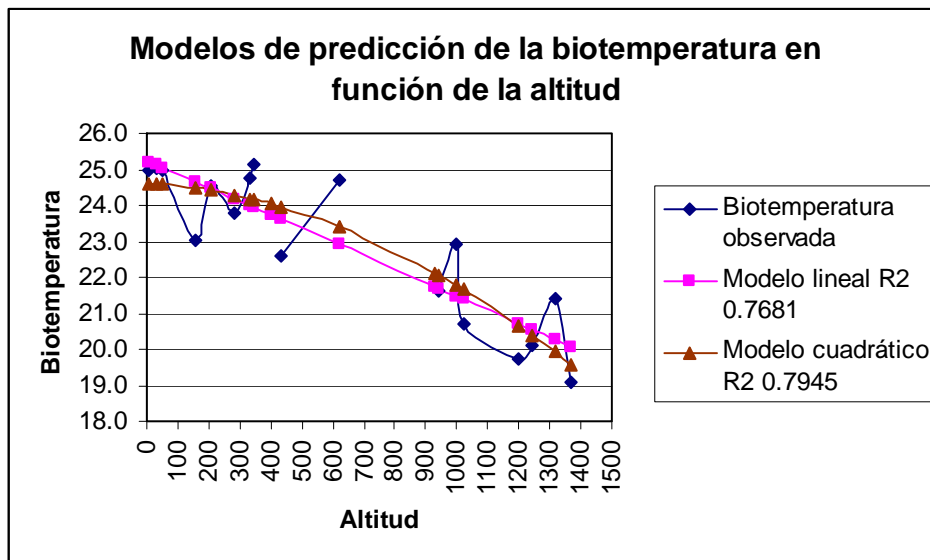
En donde:

$x$  = altitud en metros sobre el nivel medio del mar.

Biotemperatura = grados centígrados.

**Cuadro 2: Biotemperatura calculada en función de la altitud empleando los modelos lineal y cuadrático.**

| <b>Altitud</b> | <b>Biotemperatura observada</b> | <b>Modelo lineal R<sup>2</sup> 0.7681</b> | <b>Modelo cuadrático R<sup>2</sup> 0.7945</b> |
|----------------|---------------------------------|---|---|
| 6              | 25.0                            | 25.2110625                                | 24.6179471                                    |
| 30             | 25.0125                         | 25.1208585                                | 24.6025398                                    |
| 50             | 25.0                            | 25.0456885                                | 24.5876888                                    |
| 160            | 23.0231481                      | 24.6322533                                | 24.4733204                                    |
| 205            | 24.5474818                      | 24.4631208                                | 24.4105894                                    |
| 280            | 23.7752083                      | 24.1812332                                | 24.2854648                                    |
| 334            | 24.7684375                      | 23.9782741                                | 24.1794517                                    |
| 345            | 25.1102431                      | 23.9369306                                | 24.156222                                     |
| 400            |                                 | 23.730213                                 | 24.031776                                     |
| 430            | 22.6002199                      | 23.617458                                 | 23.9580673                                    |
| 620            | 24.69229                        | 22.9033427                                | 23.3956964                                    |
| 932            |                                 | 21.7306903                                | 22.1142014                                    |
| 940            | 21.6                            | 21.7006223                                | 22.0754907                                    |
| 1000           | 22.9067593                      | 21.4751122                                | 21.7758342                                    |
| 1020           | 20.7210031                      | 21.3999422                                | 21.6722913                                    |
| 1200           | 19.7                            | 20.723412                                 | 20.6581138                                    |
| 1243           | 20.1253638                      | 20.5617964                                | 20.3939188                                    |
| 1316           | 21.4199855                      | 20.2874258                                | 19.9260449                                    |
| 1371           | 19.0685571                      | 20.0807083                                | 19.5574446                                    |



**Figura 1: Modelos de predicción de la biotemperatura en función de la altitud.**

Como puede observarse el modelo cuadrático se ajusta mejor a la nube de dispersión de datos y el coeficiente de correlación se aproxima a 0.8.

Con el afán de generar un modelo más ajustado se procedió a calcular modelos para las temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales, los cuales se presentan a continuación. La ecuación 3 es un modelo lineal para la temperatura media máxima mensual y la ecuación 4 es un modelo lineal para la temperatura media mínima mensual.

Ecuación 3 modelo lineal,  $r^2 = -0.78969758$ :

$$\text{Temperatura media máxima mensual} = -0.00470916 * X + 34.3927648$$

Ecuación 4 modelo lineal,  $r^2 = -0.82511275$

$$\text{Temperatura media mínima mensual} = -0.00605554 * X + 19.480575$$

En donde:

$X$  = altitud en metros sobre el nivel medio del mar.

Temperatura media máxima mensual = grados centígrados.

Con las ecuaciones 3 y 4 se calcularon dos series de datos, una para la temperatura media máxima mensual y otra para la temperatura media mínima mensual. El rango abarcó de los 0 MSNM a los 4200 MSNM que es el rango de altitudes que se observan en el país. El intervalo de cálculo fue a cada 100 metros de altitud. La biotemperatura se calculó para cada intervalo promediando las temperaturas medias máximas mensuales con las temperaturas medias mínimas mensuales correspondientes. Previo a efectuar los promedios se aplicaron las correcciones que el Dr. Holdridge indica; a las

temperaturas medias máximas mensuales mayores que 30 °C se les redujo a 30 °C y a las temperaturas medias mínimas mensuales menores que 0 °C se incrementaron a 0 °C. Se efectuó de nuevo el análisis de regresión y el mejor modelo fue el cúbico el cual mostró un coeficiente de correlación casi perfecto para explicar la serie de datos calculados. De todas maneras el modelo es estrictamente válido solo para el rango de los 0 MSNM a los 4200 MSNM. La correlación obtenida con este modelo con las biotemperaturas observadas fue de 0.83939925, mucho mejor que el modelo cuadrático anterior. Por lo que se decidió adoptar este modelo para estimar las biotemperaturas de Suchitepéquez y Retalhuleu en función de la altitud. El modelo cúbico para el cálculo de las biotemperaturas se presenta en la ecuación 5. En la figura 2 se presenta el gráfico generado para este modelo.

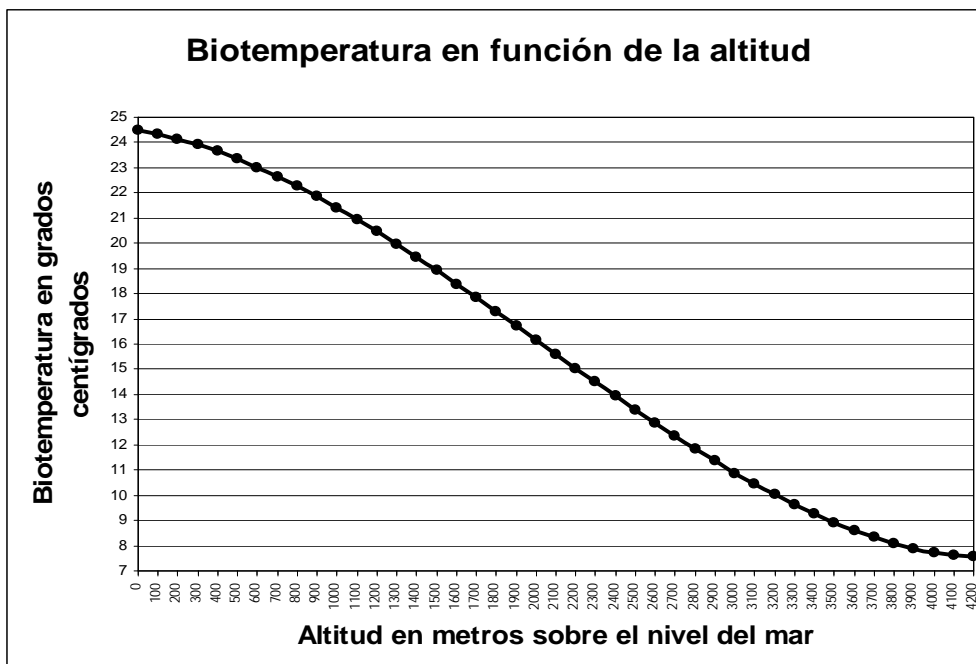
Ecuación 5, modelo cúbico:

$$\text{Biotemperatura} = 3.603 \cdot 10^{-10} x^3 - 2.1785 \cdot 10^{-06} x^2 + 0.00123576 x + 24.4664366$$

En donde:  $x$  = altitud en metros sobre el nivel medio del mar.

Coeficiente de correlación con la serie calculada = 0.999647923538586

Coeficiente de correlación con la biotemperatura observada = 0.83939925

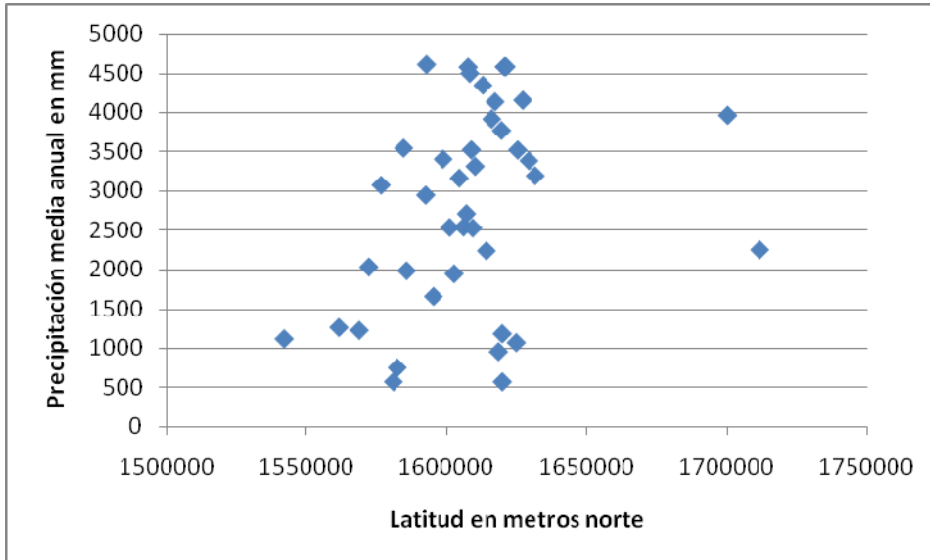


**Figura 2: Modelo cúbico para estimar la biotemperatura en función de la altitud en Suchitepéquez y Retalhuleu.**



## 2. Precipitación:

Para la estimación de la precipitación se llevó a cabo un proceso similar. Cuando se trató de relacionar la precipitación media anual con la latitud se encontró que no existía correlación entre los datos como se muestra en la figura 3.



**Figura 3: Distribución de la precipitación en función de la latitud en metros norte.**

De la misma manera como ocurrió con la biotemperatura, la distribución de la precipitación se podía explicar mejor al correlacionarla con la altitud. En el cuadro 3 se observan los datos empleados para este análisis.

**Cuadro 3: Precipitación media anual mm observada.**

| Elev | PMA         | Elev | PMA         | Elev | PMA         |
|------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 5    | 570.576.667 | 340  | 352.006.333 | 1000 | 270.986.296 |
| 6    | 1117.47     | 345  | 331.280.917 | 1000 | 415.146.852 |
| 30   | 1261        | 355  | 570.576.667 | 1020 | 396.134.333 |
| 40   | 165.785.556 | 430  | 352.210.875 | 1200 | 4579.58     |
| 50   | 1224.8      | 460  | 391.398.222 | 1243 | 2238.44     |
| 100  | 749.288.801 | 480  | 449.665.556 | 1280 | 319.282.619 |
| 125  | 203.244.333 | 520  | 413.163.333 | 1316 | 2250.79     |
| 151  | 294.581.481 | 620  | 340.353.556 | 1371 | 338.481.389 |
| 160  | 253.567.074 | 620  | 434.406.667 | 1440 | 252.832.667 |
| 205  | 2540.6      | 640  | 376.819.667 | 1562 | 11.816.875  |
| 220  | 3072.69     | 700  | 460.781.444 | 1580 | 954.494.444 |
| 240  | 1945.29     | 760  | 458.035.667 | 1600 | 106.919.917 |
| 280  | 354.299.667 | 810  | 316.207.375 |      |             |
| 340  | 198.443.667 | 940  | 4.573.955   |      |             |

**Fuente: INSIVUMEH (2008)**

El modelo que mejor se ajustó a los datos fue el cuadrático como se puede observar en la figura 4. La ecuación 6 muestra la relación entre la altitud y la precipitación con un coeficiente de correlación de 0.67873024.

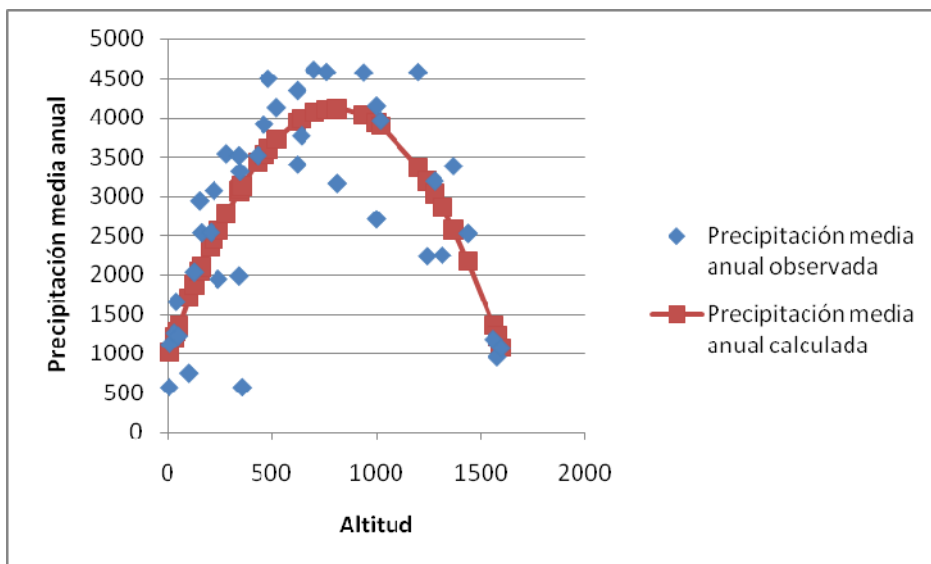
Ecuación 6, modelo cuadrático:

$$\text{Precipitación media anual} = -0.00485184 x^2 + 7.82564483 x + 968.29785$$

En donde:

Precipitación media anual = en milímetros.

$x$  = altitud en metros sobre el nivel medio del mar.



**Figura 4: Modelo cuadrático para estimar la precipitación media anual en función de la altitud.**

Sin embargo el modelo da valores negativos de precipitación para altitudes entre los 1790 y 2600 metros sobre el nivel del mar, valores que se observan en las partes más altas de Suchitepéquez y Retalhuleu. Para solventar este problema se escaló la cima del volcán Santo Tomás Pecul y se determinó el límite inferior para el bosque muy húmedo montano tropical, el cual ocurrió a los 2800 MSNM. Lo anterior se llevó cabo observando el límite inferior de distribución natural de *Cupressus lusitanica* "ciprés común", que sirvió como especie indicadora. Se estimó que a 2800 metros debe de observarse una biotemperatura de 11,836027 °C y que para que la zona de vida vegetal correspondiera al bosque muy húmedo montano tropical, la precipitación media anual debería de ser de al menos 1395 mm. De acuerdo al modelo cuadrático planteado la máxima precipitación se observa a los 760 MSNM. Entonces para el ajuste del modelo de precipitaciones se decidió calcular una recta entre los 760 a los 2800 MSNM. Este modelo lineal complementario se presenta en la ecuación 7. En la figura 4 se muestra el modelo corregido para la estimación de la precipitación.

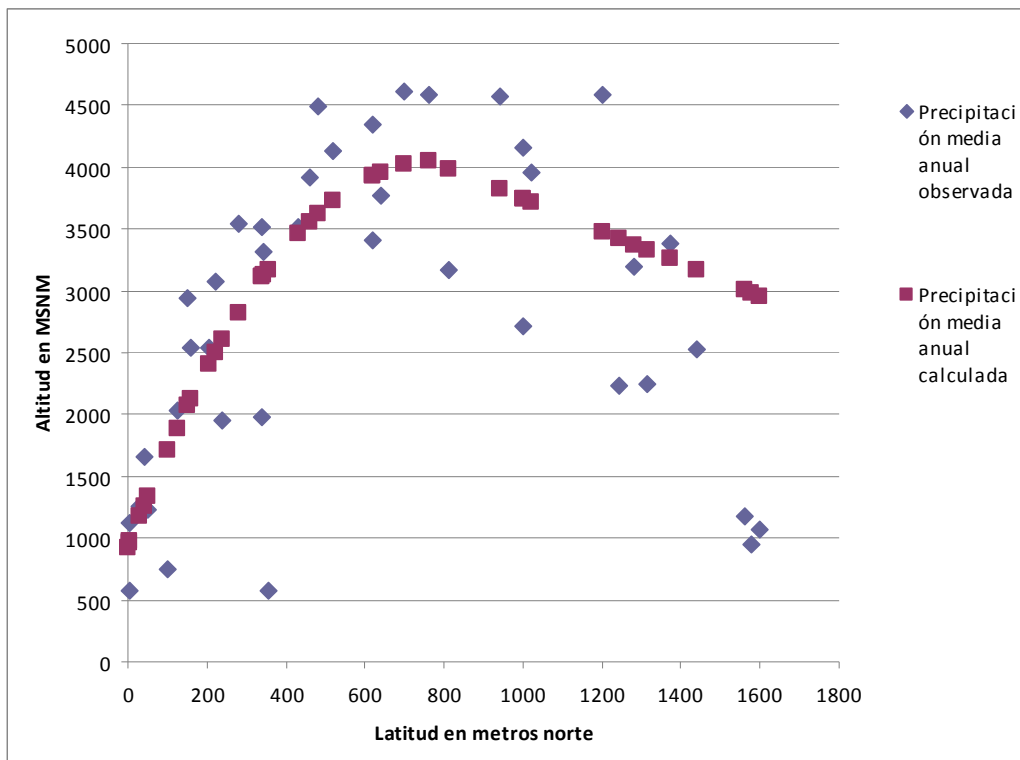
Ecuación 7, modelo lineal complementario para las altitudes de 760 a 2800 MSNM.

$$\text{Precipitación media anual} = -1,30236229 \cdot X + 5041,6144$$

En donde:

Precipitación media anual = en milímetros

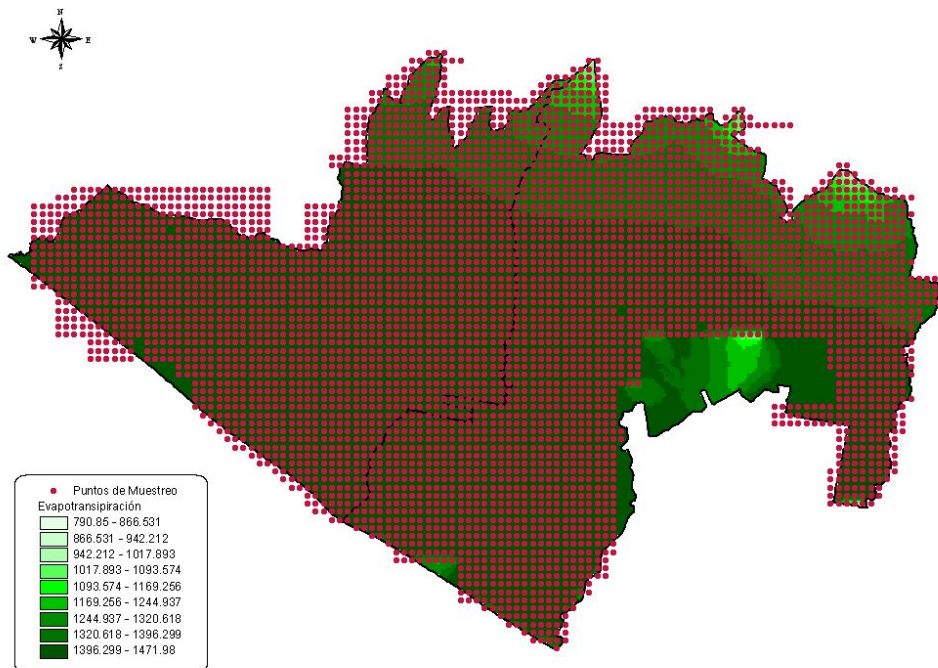
$X$  = altitud en metros sobre el nivel medio del mar.



**Figura 5: Modelo ajustado cuadrático lineal para estimar la precipitación media anual en función de la latitud.**

### 3. Zonas de Vida Vegetal:

El siguiente paso fue estimar la altitud para cada punto de intersección de la cuadrícula UTM que se encuentre sobre los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu. En la figura 4 se observa la ubicación de estos puntos sobre Suchitepéquez y Retalhuleu.



**Figura 6: Ploteo de puntos de intersección de la cuadrícula UTM sobre los departamentos de Suchitepèquez y Retalhuleu.**

Con esta información se generó una base de datos en donde para cada punto de intersección se conoce su ubicación geográfica (metros norte y metros este del lienzo 15 P de la cuadrícula Universal Transversal of Mercator), la altitud en metros cuadrados, la biotemperatura, la precipitación media anual, la relación de evapotranspiración y la zona de vida vegetal. En la figura 5 se muestra cómo se determinaron las zonas de vida vegetal a lo largo del gradiente sur norte en los puntos de intersección de la cuadrícula UTM.

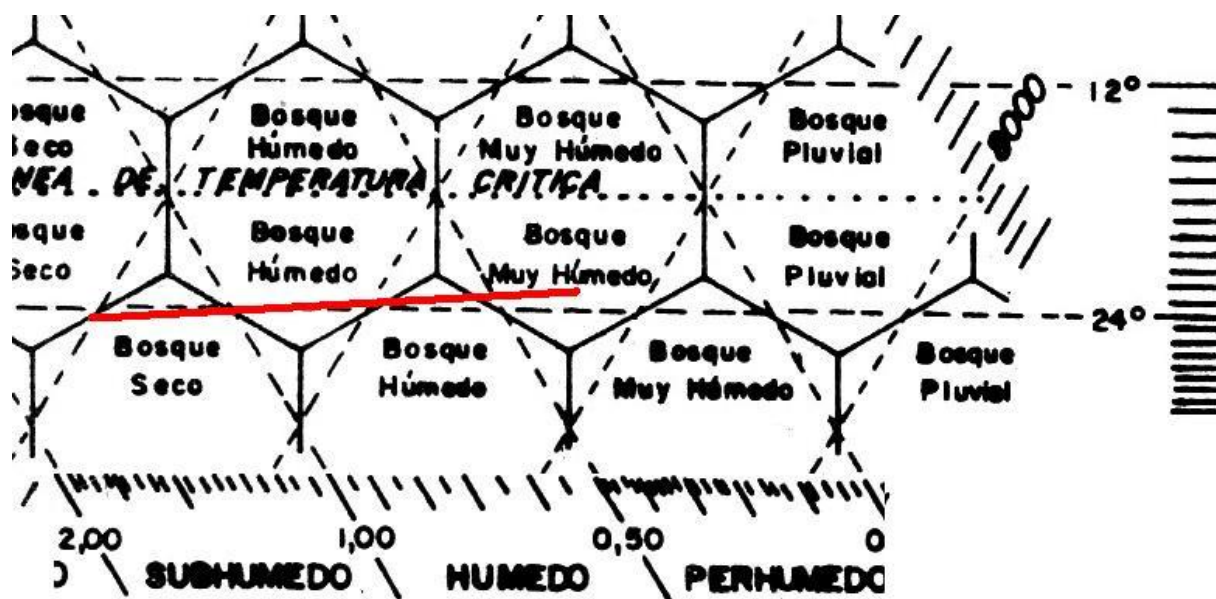
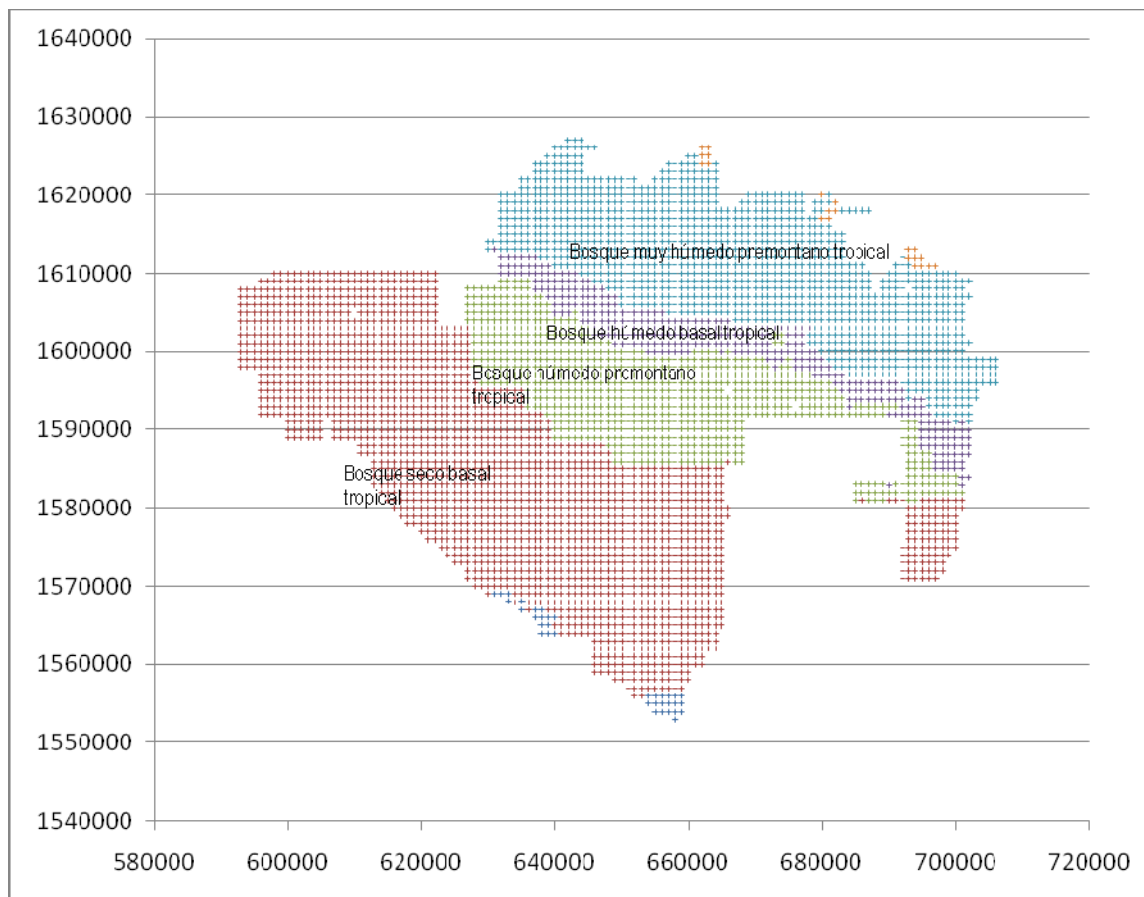


Figura 7: Determinación de la zona de vida vegetal según el Dr. Leslie Holdridge. La línea roja representa el recorrido de los puntos de intersección de la cuadrícula UTM.

En la figura 6 se muestra el resultado de la interpretación de la base de datos para determinar las zonas de vida vegetal de Suchitepéquez y Retalhuleu. En los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu, las zonas de vida vegetal se dispusieron en fajas paralelas que corren, sin interrupciones, de este a oeste. Se determinaron 6 zonas de vida vegetal las cuales se enumeran en secuencia a partir del nivel del mar hasta la zona volcánica.

- Bosque seco premontano tropical
- Bosque seco basal tropical
- Bosque húmedo premontano tropical
- Bosque húmedo basal tropical
- Bosque muy húmedo premontano tropical
- Bosque húmedo montano bajo tropical



**Figura 8: Zonas de vida vegetal determinadas para Suchitepéquez y Retalhuleu.**

#### **4. Biodiversidad:**

El muestreo originalmente escogido fue el sistemático con la toma de una muestra en una de cada 8 unidades mínimas cartografiadas para un estudio a nivel de semidetalle. Al aplicar este tipo de muestreo la probabilidad de muestrear comunidades estrechas como zanjones o cercos es muy baja y prácticamente todos los puntos de muestreo cayeron en cultivos de caña, café o hule, por lo que la biodiversidad observada es muy baja, por ejemplo, en caña la metodología del perfil muestreaba solamente 3 especies. Para no despreciar a las comunidades estrechas se decidió efectuar un muestreo dirigido sobre las curvas a nivel a cada 100 metros de altitud y tomar así una muestra representativa de cada una de las comunidades que sean interceptadas por la curva a nivel.

## VII. Discusión

Debido a lo reducido del área de estudio, los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu, no fue posible observar el efecto de la latitud o del índice de continentalidad en las variables climáticas como biotemperatura y precipitación y prevaleció casi exclusivamente el efecto de la altitud. Básicamente la altitud determina la biotemperatura, la precipitación pluvial, la zona de vida vegetal y por ende la biodiversidad. Esto con fines de elaboración de un instrumento para el monitoreo ambiental facilita su aplicación, ya que para determinar la biodiversidad de referencia de un punto en particular, basta con saber su altitud. Lógicamente esta facilidad es válida únicamente para los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.

El modelo cúbico para determinar la biotemperatura es diferente a la forma de cómo Holdridge maneja esta variable en su sistema. El Dr. Holdridge emplea un modelo lineal con un gradiente térmico de  $-0.6\text{ °C}$  por cada 100 metros de incremento en altitud. Sin embargo por las correcciones que se efectúan el modelo lineal se deforma en ambos extremos y la curva resultante es mejor explicada por el modelo cúbico.

En cuanto a la precipitación el modelo cuadrático fue el que mejor se adaptó a los datos observados, pero falla al estimar la precipitación arriba de los 1700 MSNM. Esto se debe a que no se tiene registro por encima de los 1400 MSNM en la vertiente sur y las estaciones que se encuentran alrededor de los 1500 MSNM se encuentran dentro de la cuenca del lago de Atitlán que muestra condiciones muy diferentes, ya que es una cuenca endorreica, la vertiente puede ser sur o norte y las estaciones se encuentran a la sombra de lluvia por la cordillera volcánica. Por esa razón se adoptó el modelo hasta los 760 MSNM, que es la altitud a la cual se observan las mayores precipitaciones y de ese punto hasta el límite inferior del bosque montano tropical se adoptó el modelo lineal. En este sentido muestra su utilidad el sistema del Dr. Leslie Holdridge cuando no se dispone de fuentes primarias de información.

El mapa de zonas de vida vegetal elaborado por José de la Cruz es muy diferente al mapa elaborado en el presente proyecto y no es porque nuestra versión represente un cambio climático, ya que la serie de datos empleada arranca de 1960 y termina en el 2008. La mayor discrepancia tiene su raíz en que José de la Cruz ubica a Guatemala dentro de la región subtropical y el modelo determinado para el cálculo de la biotemperatura estima que para el nivel del mar la biotemperatura debe de ser de  $24.4664366\text{ °C}$ , es decir dentro de la región tropical, ya que es mayor que  $24\text{ °C}$ . Lo anterior quiere decir que la parte sur de Guatemala se encuentra dentro de la región tropical, pero ya muy cerca del límite con la región subtropical y que la parte norte de Guatemala se encuentra dentro de la región subtropical. Esta es otra objeción al sistema del Dr. Holdridge ya que no es evidente la diferencia entre la región tropical y la región subtropical en Guatemala.

En el campo fue evidente el cambio entre el bosque muy húmedo premontano tropical y el bosque muy húmedo montano bajo tropical y también entre el bosque muy húmedo montano bajo tropical y el bosque muy húmedo montano tropical. Sin embargo por

debajo de la línea de temperatura crítica los límites propuestos por el Dr. Holdridge no son evidentes y no corresponden a los cambios de vegetación observados. Por ejemplo a nivel del bosque basal se determinan 4 zonas de vida que dividen un gradiente de un ambiente seco hacia otro más húmedo y muy ligeramente más fresco. Por otro lado dentro del bosque muy húmedo premontano tropical, si es posible observar cambios evidentes en la vegetación y el sistema del Dr. Holdridge considera a todas las asociaciones como homólogas dentro de una zona de vida. Por otra parte resulta no lógica la posición invertida del nivel premontano a una altitud menor que el nivel basal.

Debido a que las zonas de vida vegetal no se correlacionan con cambios evidentes en el campo en la vegetación, las mismas no fueron útiles para definir paisajes.

Las provincias fisiográficas al igual que las zonas de vida se distribuyen de acuerdo a la altitud del terreno, por lo que forman líneas paralelas a las zonas de vida, razón por la cual tampoco fueron útiles para la definición de paisajes.

De utilidad queda poder correlacionar los valores de biotemperatura y relación de evapotranspiración con los valores de biodiversidad alfa.

Las áreas cultivadas abarcan la mayor área y por lo tanto son las que acaparan casi todos los puntos de muestreo cuando este se lleva a cabo sistemáticamente, por lo que es mejor efectuar un muestreo dirigido ponderando siempre la importancia relativa de cada una de las comunidades. Las áreas cultivadas presentan una diversidad muy baja en comparación con las áreas en donde hay relictos de flora.



## VIII. Conclusión

- a. La biotemperatura, la precipitación media anual, la zona de vida vegetal y la biodiversidad pueden ser estimados con conocer únicamente la altitud para los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.
- b. Los modelos calculados son válidos únicamente para los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.
- c. El modelo que mejor explica la biotemperatura es el cúbico:  
$$\text{Biotemperatura} = 3.603 \cdot 10^{-10} x^3 - 2.1785 \cdot 10^{-06} x^2 + 0.00123576 x + 24.4664366$$
- d. El modelo que mejor explica la precipitación media anual es el cuadrático para el rango de 0 a 760 MSNM, en donde:  $\text{Precipitación media anual} = -0.00485184 x^2 + 7.82564483 x + 968.29785$
- e. El modelo que mejor explica la precipitación media anual en el rango de 760 a 2600 MSNM es el lineal, en donde:  $\text{Precipitación media anual} = -1,30236229 \cdot x + 5041,6144$
- f. Suchitepéquez y Retalhuleu se encuentran dentro de la región tropical y no subtropical dentro del sistema de zonas de vida vegetal del Dr. Leslie Holdridge.
- g. Se determinaron 6 zonas de vida vegetal para Suchitepéquez y Retalhuleu que enumerados en orden secuencial de sur a norte son: bosque seco premontano tropical, bosque seco basal tropical, bosque húmedo premontano tropical, bosque húmedo basal tropical, bosque muy húmedo premontano tropical y bosque muy húmedo montano bajo tropical.
- h. El sistema de zonas de vida vegetal se correlacionó bien con los cambios observados en la vegetación entre el bosque muy húmedo premontano tropical y el bosque muy húmedo montano bajo tropical. Para las demás zonas de vida determinadas no se observó un cambio evidente en la estructura de la vegetación, por lo que no fueron útiles para definir paisajes.
- i. Las provincias fisiográficas tampoco fueron de utilidad para definir los paisajes ya que se disponen paralelamente a las zonas de vida vegetal.
- j. Del sistema del Dr. Leslie Holdridge se puede rescatar los valores numéricos de biotemperatura y de relación de evapotranspiración para correlacionarlos con la biodiversidad alfa.

## **IX. Recomendaciones**

- a.** Emplear los modelos calculados para estimar la biotemperatura y la precipitación media anual en función de la altitud para cualquier punto dentro de Suchitepéquez y Retalhuleu.
- b.** Para estimar la biodiversidad alfa es mejor efectuar un muestreo dirigido a las comunidades involucradas dentro del área de estudio, ponderando la importancia relativa de cada una.
- c.** No emplear ni el criterio de zonas de vida, ni de provincias fisiográficas para dirigir los muestreos de biodiversidad.
- d.** Correlacionar las variables de biotemperatura y relación de evapotranspiración con la biodiversidad alfa.

## X. Bibliografía

CONAP. 2006. Diagnóstico de necesidades y propuesta de prioridades para el fortalecimiento taxonómico en Guatemala. Consejo Nacional de Areas Protegidas. Guatemala. 40 p.

Holdridge, Leslie R. 1977. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H. Jiménez Saa. San José, CR, IICA. 216 p.

Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), 2006. Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. Guatemala, 250 páginas.

Matteuci, Silvia Aguila DEL; Colma, Aida. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Ed. Eva V. Chesneau. Wash. OEA. Serie Biología. No. 22. 168 p.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 pp.

SERVICIO DE INFORMACIÓN MUNICIPAL. 2007. Departamento de Suchitepéquez. (en línea) consultado el 2 de junio de 2007 disponible en

SERVICIO DE INFORMACIÓN MUNICIPAL. 2007. Departamento de Retalhuleu (en línea) consultado el 2 de junio de 2007 disponible en

Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3):213-251.