

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis del cambio en el carbono existente en 5 bosques  
municipales de dos departamentos del Altiplano de Guatemala  
entre los años 2004-2008.

Trabajo de investigación presentado por **Luis Daniel Cruz Orellana** para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Forestal.

Guatemala

2009



Análisis del cambio en el carbono existente en 5 bosques  
municipales de dos departamentos del Altiplano de Guatemala  
entre los años 2004-2008.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Forestal

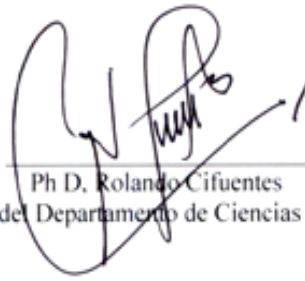
Análisis del cambio en el carbono existente en 5 bosques  
municipales de dos departamentos del Altiplano de Guatemala  
entre los años 2004-2008.

Trabajo de investigación presentado por **Luis Daniel Cruz Orellana** para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Forestal.

Guatemala

2009

Vo. Bo:



Ph D. Rolando Cifuentes  
Director del Departamento de Ciencias Agrícolas

Tribunal:



Ing. Alma Quilo  
Asesor



Ph D. Edwin Castellanos



Ing. MsC. Cesar Augusto Castañeda

Fecha de aprobación: Guatemala, 12 de junio de 2009.

## DEDICATORIA

- A DIOS:** Ser supremo de quien obtengo las fuerzas y todo lo necesario para lograr mis éxitos y disfrutar momentos especiales.
- A MIS PADRES:** Luis Angel y Lilian Janeth, quienes incansablemente se sacrificaron para formar a la persona que soy y cuyas vida me inspiran a intentar ser cada vez mejor persona.
- A MI FAMILIA:** Hermanos, abuelos, primos y tíos, quienes siempre estuvieron al pendiente de mí y me animaron en momentos difíciles.
- A MIS CATEDRÁTICOS:** Profesionales e individuos con altos valores, de quienes obtuve el incuantificable conocimiento y conducta. En especial al Ing. Cesar Castañeda, de quien recibí apoyo incondicional durante toda la carrera.
- A MIS COMPAÑEROS:** Con quienes compartí momentos inolvidables y crecimos en conocimiento, instruyéndonos y animándonos para lograr la excelencia.
- A MIS AMIGOS/AS:** Con quienes comparto este logro.
- AL CEA:** En especial al Dr. Castellanos, por todo su apoyo y corrección en el proceso de la elaboración del trabajo de graduación. Y al Centro por apoyarme y permitirme trabajar junto a tan distinguido equipo.
- A LA UVG:** Por mi conocimiento, formación y razón.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE MAPAS.....</b>	<b>xiv</b>
RESUMEN.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. ANTECEDENTES	5
A. Problemática (calentamiento global, GEI, etc.).....	5
1. Efecto de invernadero .....	5
2. Mitigación de GEI a través de forestería .....	8
3. Mitigación de GEI a través de la conservación de bosques.....	9
B. Métodos para el inventario, monitoreo y verificación.....	9
C. Situación socio-económica de la población de estudio .....	11
1. Municipio de San José Ojetenam.....	11
2. Municipio de Cabricán .....	13
3. Municipio de Huitán .....	15
IV. OBJETIVOS	17
A. General.....	17
B. Específicos.....	17
V. METODOLOGÍA	19
A. Selección de sitios .....	19
B. Proceso de mapeo y selección de lugares de muestreo .....	20
C. Materiales y equipo utilizado .....	20
D. Diseño de la parcela de medición de carbono .....	21

E.	Metodología de la medición de captura de carbono en los bosques municipales..	22
1.	Inventario forestal .....	22
2.	Estimación de biomasa en campo .....	24
3.	Análisis de muestras y carbono orgánico del suelo en laboratorio para la estimación de la biomasa seca .....	25
4.	Metodología de cálculo de gabinete .....	27
F.	Metodología para la generación de mapas .....	30
G.	Referencia de obtención de metodología.....	31
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
A.	BOSQUE LAS VENTANAS .....	33
B.	BOSQUE GUADALUPE.....	38
C.	BOSQUE OJO DE AGUA.....	42
D.	BOSQUE EL CEBOLLÍN.....	46
E.	BOSQUE TXEMUJ .....	50
VII.	CONCLUSIONES	59
VIII.	RECOMENDACIONES	63
IX.	BIBLIOGRAFÍA	65
X.	ANEXOS.....	66

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Algunos indicadores sociales del municipio de Cabricán.....	15
2	Descripción de los bosques seleccionados para revisita, con fines de cuantificación de cambio de carbono existente entre los años 2004 al 2008.....	19
3	Formulas utilizadas en el cálculo de biomasa en el componente arbóreo del bosque para latifoliadas y coníferas.....	22
4	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Las ventanas, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos en el 2,008.....	33
5	Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Las ventanas, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos entre los años 2,004 y 2,008.....	34
6	Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque Las ventanas para el año 2008.....	36
7	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Guadalupe, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos en el 2,008.....	38
8	Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Guadalupe, municipio de San José Ojetenam, departamento de San Marcos entre los años 2,004 y 2,008.....	39
9	Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque Guadalupe para el año 2008.....	41
10	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Ojo de agua, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2008.....	42
11	Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Ojo de agua, Municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango entre los años 2,004 y 2,008.....	43

12	Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque Ojo de Agua para el año 2008.....	45
13	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Cebollín, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2008.....	46
14	Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Cebollín, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango entre los años 2,004 y 2,008.....	47
15	Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque El Cebollín para el año 2008.....	49
16	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Txemuj, municipio de Huitán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2008.....	50
17	Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Txemuj, municipio de Huitán, departamento de Quetzaltenango entre los años 2,004 y 2,008.....	51
18	Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque Txemuj para el año 2008.....	53
19	Resumen del tonelaje de carbono por hectárea y total en cada uno de los bosques en el año 2,004.....	55
20	Resumen del tonelaje de carbono por hectárea y total en cada uno de los bosques en el año 2,008.....	55
21	Cuantificación del cambio de carbono existente en tC/hectárea y en % entre los años de 2004 y 2008.....	56
22	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Las ventanas, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos, en el año 2004.....	68
23	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Guadalupe, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos, en el año 2004.....	69
24	Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Txemuj, municipio de Huitán, departamento de Quetzaltenango, en el año	70

2004.....	
25 Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Cebollín, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2004.....	71
26 Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Ojo de agua, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2004.....	72
27 Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Las ventanas, año 2004.....	74
28 Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Guadalupe en el 2,004.....	75
29 Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Ojo de Agua en el 2,004.....	76
30 Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Cebollin en el 2,004.....	77
31 Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Txemuj en el 2,004.....	78
32 Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Las Ventanas.....	80
33 Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Guadalupe.....	81
34 Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Ojo de Agua.....	82
35 Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Cebollin.....	83
36 Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Txemuj.....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Tendencias en las Concentraciones atmosféricas y en las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono.....	6
2	Emisiones antropogénicas de gases de invernadero en los EE.UU., 2001.....	7
3	Modelo de unidad de muestreo para el registro de variables en la medición de carbono.....	23
4	Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Las ventanas para el año 2008.....	36
5	Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Guadalupe para el año 2008.....	41
6	Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Ojo de Agua para el año 2008.....	45
7	Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Cebollín para el año 2008.....	49
8	Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Txemuj para el año 2008.....	54
9	Representación gráfica del cambio en el carbono existente en los cinco bosques en el período de 2,004-2,008.....	56
10	Representación gráfica de frecuencias por intervalos diamétricos en el bosque Las Ventanas en el 2,004.....	74
11	Representación gráfica de frecuencias por intervalos diamétricos en el bosque Guadalupe en el 2,004.....	75
12	Representación gráfica de frecuencias por intervalos diamétricos en el bosque Ojo de Agua en el 2,004.....	76
13	Representación gráfica de frecuencias por intervalos diamétricos en el bosque Cebollin en el 2,004.....	77
14	Representación gráfica de frecuencias por intervalos diamétricos en el bosque Txemuj en el 2,004.....	78

## LISTA DE MAPAS

Mapa	Página
1 Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Las Ventanas. Años 2004 y 2008.....	86
2 Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Guadalupe. Años 2004 y 2008.....	87
3 Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Txemuj. Años 2004 y 2008.....	88
4 Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Cebollin. Años 2004 y 2008.....	89
5 Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Ojo de Agua. Años 2004 y 2008.....	90
6 Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Las Ventanas, San José Ojetenam, San Marcos .....	92
7 Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Las Ventanas, San José ojetenam, San Marcos.....	93
8 Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Las Ventanas, San José ojetenam, San Marcos .....	94
9 Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Guadalupe, San José Ojetenam, San Marcos .....	96
10 Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Guadalupe, San José ojetenam, San Marcos.....	97
11 Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Guadalupe, San José ojetenam, San Marcos .....	98
12 Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Txemuj, Huitan, Quetzaltenango .....	100
13 Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Cebollin, Cabrican, Quetzaltenango.....	101

14	Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Txemuj, Huitan, Quetzaltenango.....	102
15	Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Cebollin, Cabrican, Quetzaltenango.....	104
16	Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Cebollin, Cabrican, Quetzaltenango.....	105
17	Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Cebollin, Cabrican, Quetzaltenango.....	106
18	Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Ojo de Agua, Cabrican, Quetzaltenango.....	108
19	Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Ojo de Agua, Cabrican, Quetzaltenango.....	109
20	Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Ojo de Agua, Cabrican, Quetzaltenango.....	110
21	Distribución de parcelas del año 2,008 en el bosque Ojo de Agua, Cabrican, Quetzaltenango.....	92

## RESUMEN

En tres municipios del Altiplano occidental del país fue cuantificado el cambio de carbono almacenado en cinco bosques municipales durante el período 2004-2008, con el objetivo de conocer la dinámica que ha tenido el bosque en sus distintos componentes, y observar el efecto que ha producido la intervención del hombre en los recursos naturales del lugar. El método utilizado para la cuantificación de carbono fue el propuesto por el Instituto Winrock para sistemas forestales y agroforestales, usado también en el 2004. Las parcelas fueron seleccionadas en el 2004 al azar dentro de cada polígono de bosque y en el 2008 se buscaron dichas parcelas con información geográfica para cuantificar en el mismo lugar el carbono encontrado 4 años después. En algunos bosques no se logró visitar todas las parcelas muestreadas en el 2004, por lo que se corrieron un poco o se tomaron las mediciones en otro lugar en el bosque. En el 2008 se experimentó un decremento total del 18% en el carbono almacenado en cuatro bosques (Las Ventanas, Guadalupe, Cebollín y Txemuj), sumando un total de 29,762 tC menos que las cuantificadas en el 2004 (164,574 tC). De los cinco bosques solamente el bosque Ojo de Agua experimentó un aumento en el carbono en un 52%, sumando 4,759 tC más que en el 2004 (9,225 tC). Se encontró cierta dinámica entre los componentes del bosque, principalmente entre suelos, hojarasca y árboles, entre los cuales hubo en algunos bosques cierto cambio; sin embargo la composición de los bosques en su estrato arbóreo se manifestó de forma similar en el transcurso de período en estudio. Es de vital importancia establecer adecuadamente parcelas permanentes de muestreo, teniendo énfasis en aplicar adecuadamente las metodologías de muestreo. Además se recomienda realizar algún tipo de estratificación en los bosques mediante áreas basales o tC/Ha para distribuir adecuadamente las parcelas en cada bosque y disminuir significativamente el error de muestreo.

## I. INTRODUCCIÓN

A través de las últimas décadas la situación de los bosques en Guatemala se ha tornado negativa, debido a la presión ejercida sobre los recursos naturales en general, especialmente en el bosque, ya que la población ha realizado en ellos actividades descontroladas y deliberadas que ponen en peligro la estabilidad y dinámica de estos recursos. Una de las causas principales de esta presión ejercida en el altiplano guatemalteco, es el aumento de la pobreza y presión social existente que obliga a los pobladores a aprovechar desequilibradamente los recursos forestales.

Actualmente existen proyectos forestales de carbono, que conllevan a la comercialización de créditos de carbono para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero antropogénico) en países industrializados, por lo que se convierten en una oportunidad de desarrollo para las poblaciones locales que se sitúan en las áreas boscosas pudiendo generar servicios ambientales y dar valor agregado a los bosques.

Como parte de la respuesta al problema del calentamiento global y cambio climático que envuelve a nuestra era, las instituciones u organizaciones involucradas se esmeran por tomar acciones correctivas creando mecanismos para desplazar el impacto negativo de las actividades antropogénicas. Mecanismos como conservación de bosques y reforestación pueden ser utilizados en países no industrializados para mitigar emisiones de gases de invernadero a nivel regional. La venta de servicios ambientales, dentro de los que se encuentran los créditos de carbono, pueden ser herramientas para incentivar la conservación y aprovechamiento equilibrado de los bosques en países en desarrollo. Por esta razón es de suma importancia tener los métodos necesarios y técnicas para llevar a cabo cuantificaciones de carbono fijado para realizar estas transacciones.

El estudio que se presenta en este trabajo de graduación fue parte de la implementación de este proyecto financiado por la Applied Energy Services -AES-, como parte del convenio firmado por UVG y CARE para el monitoreo de carbono en bosques del altiplano occidental. En el año 2007 se aprobó el ingreso por parte de comités de poblaciones a cinco bosques del altiplano que ya habían sido visitados en el año 2004. Por

lo que para el fin trazado del proyecto, se convirtió en una excelente oportunidad no solo para cuantificar el carbono almacenado o secuestrado por estos bosques al día de hoy, sino también para conocer los cambios de carbono existente en el transcurso de determinado tiempo.

Entre los meses de enero a marzo de 2008 se visitaron los 5 bosques analizados en el presente estudio que corresponden a los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango. Los bosques son los siguientes:

1. Bosque Las Ventanas
2. Bosque Guadalupe
3. Bosque Ojo de Agua
4. Bosque Cebollín
5. Bosque Txemuj

## II. JUSTIFICACIÓN

Una de las técnicas para conocer que tanto se puede mitigar el calentamiento global, enmarcado en el Cambio Climático, es la estimación de carbono fijado en sistemas terrestres, mediante parcelas forestales de medición. Aproximadamente el 90% de la biomasa de los ecosistemas terrestres se encuentra depositada en los bosques en forma de fustes, ramas hojas, hojarasca (Rodríguez L. R. *et al.* 2006), lo que nos obliga a obtener técnicas y metodologías prácticas y eficientes para la toma de datos de biomasa y carbono en los bosques de nuestro país y del mundo. Por otro lado, el conocimiento del cambio en el almacenamiento de carbono en estos bosques nos ayuda a conocer la situación temporal de cada uno de ellos y de la situación social y económica en la que están las comunidades encargadas del manejo de los mismos; por lo que conocer el cambio que ha tenido efecto en la fijación de carbono y su interpretación serán fundamentales para analizar y formular acciones para la planificación de actividades que enriquezcan estos recursos.

El financiamiento por parte de Applied Energy Services–AES- tiene como requerimientos el informar el stock de carbono existente en los bosques visitados desde el 2004, por lo que la cuantificación del mismo en el año 2008 así como el análisis del cambio de stock en esos cuatro años (para 5 bosques) será información importante que no había sido realizada anteriormente, que nos dará a una idea del cambio de biomasa que exista en estos bosques que nos permitan crear supuestos de la forma en que las comunidades del altiplano manejan los recursos naturales, esencialmente el bosque.



### III. ANTECEDENTES

#### A. Problemática (calentamiento global y GEI)

##### 1. Efecto de invernadero

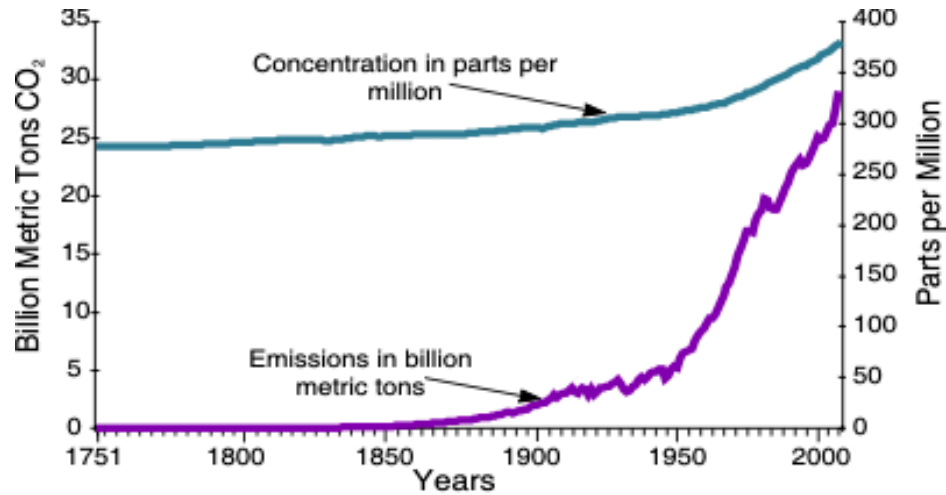
*a. Gases de efecto de invernadero (GEI).* Muchos compuestos químicos encontrados en la atmósfera de la Tierra actúan como "gases de invernaderos". Estos gases permiten la entrada libre de los rayos solares a la atmósfera. Cuando la luz del sol llega a la superficie de la Tierra, parte de esta se refleja hacia el espacio como radiación infrarroja (calor). Los gases de invernadero absorben esta radiación infrarroja y atrapan el calor en la atmósfera. A través del tiempo, la cantidad de energía que llega a la superficie de la Tierra proveniente del sol, debiese ser parecida a la cantidad de energía irradiada de la superficie al espacio, manteniendo la temperatura de la superficie de la Tierra relativamente constante.

Muchos gases exponen estas propiedades "de invernadero". Algunos de ellos ocurren en la naturaleza, como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, y el óxido nitroso; mientras los otros son exclusivamente humanos, como gases usados para aerosoles (EIA, 2008).

*b. Incremento del nivel de gases en la atmósfera.* Los niveles de varios gases de invernadero importantes han aumentado alrededor del 25% desde que la industrialización en gran escala comenzó hace unos 150 años (ver Figura 1). Durante los últimos 20 años, aproximadamente tres cuartos de emisiones de dióxido de carbono humanas fueron por la quema de combustibles fósiles.

**Figura 1.**

## Tendencias en las concentraciones atmosféricas y en las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono



Source: Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center.

(EIA, 2008).

**c. Efecto de los GEI en el cambio climático.** Es muy difícil cuantificar el grado de cambio en la temperatura de la tierra debido a causas antropogénicas, debido a que la temperatura de la tierra depende de muchas variables. En modelos computarizados, las concentraciones crecientes de gases de invernadero generalmente producen un aumento en la temperatura media de la Tierra. Las temperaturas crecientes, por su lado, pueden producir cambios en el clima, en el nivel del mar y en el tipo de cobertura de la tierra, y que es comúnmente llamado “Cambio climático”.

Muchas evaluaciones sugieren que el clima de la tierra se pudo haber calentado durante el siglo pasado y que la actividad humana que afecta a la atmósfera es probablemente un factor conductor importante. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio climático indica que "los Gases invernaderos se acumulan en la atmósfera de la Tierra como consecuencia de actividades humanas, causando un incremento en las temperaturas superficiales del aire y en las temperaturas sub superficiales del océano. Las temperaturas son, de hecho, crecientes. Los cambios observados durante varias décadas pasadas son probablemente debido a actividades humanas, pero no podemos omitir que una

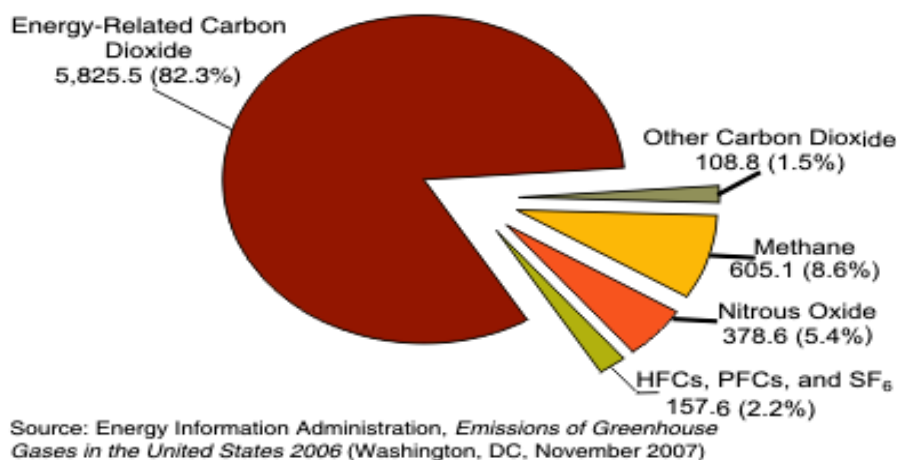
parte significativa de estos cambios son también un reflejo de la variabilidad natural (EIA, 2008).

Sin embargo, hay incertidumbre en como el sistema de clima varía naturalmente y reacciona a las emisiones de gases de invernadero. En el progreso por reducir la incertidumbre de las proyecciones del clima futuro, se requerirá una mejor conciencia y comprensión de la acumulación de gases de invernadero en la atmosfera así como del comportamiento del sistema de clima (EIA, 2008).

**d. Fuentes de los GEI.** Las emisiones de gases de invernadero en EE.UU, se realizan sobre todo por el empleo de energía. Estas emisiones son conducidas principalmente por el crecimiento económico, el combustible usado para la generación de electricidad, y el modelo meteorológico que afecta las necesidades de calefacción y la refrigeración. Emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía, como resultado del petróleo y el gas natural, representan el 82 por ciento del total de emisiones humanas de gases de invernadero en los EE.UU. (ver figura 2).

**Figura 2.**

Emisiones antropogénicas de gases de invernadero en los EE.UU., 2001  
(En millones de toneladas métricas de carbono equivalente)



(EIA, 2008).

**2. Mitigación de GEI a través de forestería.** Según Stuart & Moura (1998), una de las opciones más adecuadas para la mitigación de los gases de Efecto de Invernadero (GEI) es la forestería (en su artículo *Climatechangemitigationbyforestry*).

La noción de compensar las concentraciones atmosféricas crecientes de CO<sub>2</sub> mediante la repoblación forestal de escala global, fue primeramente propuesta a finales de los años 1960's (Dyson 1977). Desde el principio de los años 1990 una variedad de proyectos de compensación de carbono a base de silvicultura han sido iniciados (Moura, C; Stuart, M. sf).

Se argumenta que las grandes extensiones de tierras subutilizadas, degradadas o deforestadas, que tienen un bajo valor de depósito de carbono y que pueden ser reforestadas o rehabilitadas se encuentran disponibles en todo el mundo. Los países tropicales en vías de desarrollo (p.e. Guatemala), a diferencia de los países templados, poseen la combinación de condiciones climáticas favorables para el crecimiento de árboles, la disponibilidad de tierra, y la abundancia de mano de obra para promover el desarrollo de esquemas de forestería (Stuart, M.; Moura C. 1998).

Cualquier actividad que implique la plantación de árboles se convierte en la creación de nuevos reservorios de carbón, i.e. existe una fijación de carbono durante el crecimiento de árbol en la repoblación forestal, la rehabilitación forestal, o esquemas de agro silvicultura. Generalmente el secuestro de carbono se ha tomado desde el contexto del establecimiento de nuevos bosques, sin embargo la fijación de carbono también se puede dar mediante la mejora de los índices de crecimiento de bosques existentes como el Incremento corriente anual (ICA) y el Incremento medio anual (IMA). Esto puede ser alcanzado por tratamientos de silvicultura como el aclareo, cortes de liberación y fertilización (Stuart, M.; Moura C. 1998).

**3. Mitigación de GEI a través de la conservación de bosques.** En comparación con la creación de depósitos de carbono, la conservación de bosques juega un doble rol. En primer lugar previene la emisión de dióxido de carbono que puede darse por la descomposición de la biomasa forestal. Según Brown *et al.*,(1996), se ha estimado que la deforestación contribuye en un 30% a las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. En segundo lugar, la conservación previene la reducción de áreas con potencial para un secuestro activo de carbono.

La fijación de carbón mediante la forestería es una función de acumulación de biomasa y almacenaje. Por lo tanto, cualquier actividad o práctica de dirección que cambie la biomasa en un área tienen un efecto sobre la capacidad para almacenar o secuestrar carbono de dicha área. Una variedad de prácticas de dirección forestal pueden ser usadas para reducir la acumulación de gases invernaderos en la atmósfera, mediante dos vías diferentes. Una de ellas es mediante el aumento activo del monto o la tasa de acumulación de carbono y el segundo es mediante la prevención o reducción de la tasa de liberación de carbono que se encuentre fijado en un fondo existente de carbono (Stuart, M. y Moura C., 1998).

Debido a que cantidades sustanciales de carbón son almacenadas en suelos, las prácticas que promueven un aumento de la materia orgánica del suelo también pueden tener un efecto positivo en el secuestro de carbono (Stuart, M. y Moura C., 1998).

## **B. Métodos para el inventario, monitoreo y verificación**

Una gran limitante en el establecimiento de programas forestales exitosos y para la evaluación de los mismos es la ausencia de metodologías adecuadas que sean confiables, precisas y con costos efectivos en el monitoreo del carbono almacenado. Es difícil afirmar la existencia de criterios establecidos en la metodología para determinar adecuadamente la reducción, fijación u omisión de la cantidad de dióxido de carbono u otros GEI por los distintos proyectos. Las diferentes entidades trabajando en proyectos de carbono, usan métodos ya sea basados en muchas asunciones preliminares o que involucran esfuerzos intensivos de investigación, y por lo tanto muy costosos para el uso generalizado (MacDicken, 1997). Es por esto, que muchas instancias han identificado la necesidad de trabajar en la validación de métodos precisos, costos efectivos y confiables que no se basen

en demasiadas suposiciones y que tampoco requieran de investigaciones extensas y demasiado precisas, pues los costos aumentan (Figueras *et al.*, 1996).

El instituto Winrock ha diseñado métodos para la cuantificación de carbono que proveen resultados confiables, usando principios de inventarios forestales, ciencia del suelo y levantamientos ecológicos. El objetivo del sistema es el de llevar a los métodos de investigación a ser compatibles con los inventarios forestales en la escala comercial, en los niveles de precisión requeridos por las entidades que financian y con presupuestos razonables. Winrock trabaja con métodos y procedimientos usados con parcelas permanentes de muestreo que deben ser monitoreadas “periódicamente” en los casos de línea base y de proyecto (MacDicken, 1997).

El uso de parcelas permanentes de muestreo, se considera como un medio estadísticamente superior de evaluar los cambios en el carbono fijado en el sitio. Las parcelas permiten una evaluación eficiente de los cambios en el carbono fijado a lo largo del tiempo, si las parcelas muestreadas son representativas de área total del proyecto. El uso de parcelas, también permite que el inventario continúe durante más de una rotación. Finalmente las parcelas permiten que se lleve a cabo la verificación eficientemente, a un costo relativamente bajo (MacDicken, 1997).

Para el diseño del inventario de un proyecto, es crítico decidir qué reservorios de carbono deben medirse. Generalmente, todos los reservorios grandes y que están sujetos a cambios durante la vida del proyecto deben medirse. Los reservorios que son pequeños o que sufren cambios lentamente, no necesitan medirse. El sistema de monitoreo propuesto por Winrock está diseñado para determinar cambios en cuatro principales fuentes de carbono: biomasa arriba del suelo, biomasa abajo del suelo (a pesar de que en este estudio no se realiza esta medición), suelos y hojarasca. El sistema busca determinar la diferencia neta en cada fuente para áreas tanto del proyecto como fuera del proyecto (o línea base) durante un periodo específico de tiempo. La biomasa arriba del suelo está compuesta por árboles, arbustos y la vegetación herbácea. Los árboles son plantas de tallo leñoso con un DAP<sup>1</sup> mayor a 10 cm y la vegetación arbustiva incluye toda planta leñosa o semi leñosas

---

<sup>1</sup>DAP: Diámetro a la altura del pecho (a 1.3 m del suelo)

con DAP menor a 10 cm. La biomasa abajo del suelo está formada por el sistema radicular de la vegetación presente<sup>2</sup>. La hojarasca es el materia vegetal encontrado sobre el suelo, en proceso de descomposición (MacDicken, 1997).

La efectividad a largo plazo de la captación de carbono, depende en parte, de los usos finales que se le dé a la madera producida a través de las actividades del proyecto. Entre más durables sea el producto, mayor será el efecto del proyecto sobre el almacenaje de carbono en el mediano y largo plazo. El impacto de los sumideros de carbono es directamente proporcional a los “años tonelada” de almacenaje (esto es, las toneladas de carbono multiplicadas por el número de años durante los cuales el carbono es almacenado). Los inventarios de carbono llevados a cabo en sitios de proyectos forestales y agroforestales, son en realidad “fotografías instantáneas” del carbono almacenado en el momento del inventario. Para asegurar que estas fotografías instantáneas pueden compararse con otras, es importante que el equipo de inventario sea consistente en el uso de técnicas de medición y métodos entre diferentes sitios, rodales y periodos de inventario (MacDicken, 1997).

### **C. Situación socio-económica de la población de estudio**

**1. Municipio de San José Ojetenam.** El municipio de San José Ojetenam pertenece al departamento de San Marcos, y en este municipio se localizan dos de los cinco bosques en estudio: Bosque Las Ventanas y Bosque Guadalupe. A continuación se presentan datos importantes en cuanto a la situación social y económica del lugar.

**a. Población.** El municipio de San José Ojetenam, cuenta con una población de: 20.940 habitantes distribuidos de la siguiente manera:

- Hombres: 11,290
- Mujeres: 9,650

---

<sup>2</sup>En este estudio no se tomó en cuenta la biomasa abajo del suelo

**b. Actividades económicas.** Los productos obtenidos de las actividades principales de los habitantes del municipio de San José Ojetenam son utilizados para su propio consumo y en poca cantidad son ofertados al mercado local. En cuanto a la tenencia de la tierra, el 80% pertenecen a agricultores o personas individuales, mientras que el 20% es de propiedad comunal. Los principales cultivos que se realizan en el municipio son: Maíz, papa y trigo. Los agricultores en su totalidad aun utilizan las técnicas tradicionales de laboreo de sus terrenos, esto principalmente por las siguientes limitaciones: pendientes de sus terrenos, recursos económicos y poca extensión de tierra a cultivos.

El ingreso promedio mensual varía según el área siendo estos los siguientes:

- Área Urbana Q 600.00
- Área Rural Q 200.00

En el municipio la fuerza de trabajo está compuesta por el padre de familia e hijos mayores que son los encargados de cultivar la tierra que poseen; esto para sostenimiento del núcleo familiar. Las mujeres juegan un papel doble, puesto que son encargadas de los oficios de la casa y además proporcionan gran parte de su tiempo en realizar otros tipos de trabajo.

**c. Vivienda y salud.** El municipio cuenta con un total de 3, 898 viviendas, las cuales tienen las características siguientes: un 80% tiene paredes de adobe, un 78% posee techo de lámina, un 14% teja de barro y un 8% techo de manila; un 94% de las viviendas tienen piso de tierra y el 6% restante poseen el piso de cemento. Los ambientes de las viviendas varían de acuerdo a las posibilidades económicas de las personas; pero un promedio es de dos, uno utilizado como dormitorio y otro como cocina.

El municipio de San José Ojetenam, cuenta con un centro de salud, el cual es dirigido por un médico graduado, y cuenta con los servicios de enfermeras graduadas y auxiliares además de tener a varios técnicos especializados.

- *Morbilidad*

Entre las enfermedades más comunes dentro del área del municipio están las siguientes:

Parasitismo intestinal, diarrea, desnutrición, neumonía, resfriado común, amigdalitis, enfermedades de la piel, enfermedades articulares, enfermedades pépticas, enfermedades urinarias.

Las causas más comunes que provocan las muertes, las enumeramos a continuación:

Neumonía (1.78 %), enfermedad general de sangre (0.11 %), diarrea (1.00 %), intoxicación alcohólica (0.06 %), desnutrición (0.83 %), heridas por arma de fuego (0.06 %), accidente cerebral vascular (0.22 %), hernias ing. estrangulada (0.06 %), trauma cráneo encefálico (0.11 %) y cirrosis hepática (0.06 %).

**d. Educación.** En el municipio de San José Ojetenam, se cuenta con un porcentaje de:

- Población alfabeta.....40%
- Población analfabeta.....60%

El número de alumnos varía entre las comunidades, siendo el mínimo de 100 alumnos y un máximo de 225. La tasa o porcentaje de deserción en promedio es del 40%.

**2. Municipio de Cabricán.** El municipio de Cabricán pertenece al departamento de Quetzaltenango, y es en este municipio donde se encuentran dos de los bosques incluidos en este estudio: Ojo de Agua y El Cebollín. A continuación se presentan algunos datos puntuales en cuanto al nivel de vida que posee la población de dicho municipio.

**a. Datos generales**

**Extensión territorial:** 60 km<sup>2</sup>

**Altitud:** 2,525 msnm

**Densidad Poblacional:** 292 habitantes/km<sup>2</sup>

**Clima:** Frío

**Idioma indígena:** Mam

**División Político-Administrativo:** Cabricán se compone por 6 aldeas y 27 caseríos

**b. Población.** La población total del municipio según el censo urbano y rural realizado en 1998 por la unidad técnica municipal y el centro de salud, es de 17,543, de los que 16,753 (95%) se encuentran en el área rural y 790 (4.5%) están ubicados en el área urbana. Por otra parte, el 51% de la población (8,947) es del sexo femenino.

**c. Actividades económicas.** Las actividades económicas de Cabricán las podemos analizar mediante la ocupación principal de la población que se obtuvo del censo 1998 ya citado anteriormente. De esta manera los agricultores representan el 40%, jornaleros 35%, comerciantes 1%, profesionales 5%, artesanos 7%, amas de casa 11% y empresarios 0.46%. En Cabricán resalta la producción de cal, que en los últimos años se ha visto también en crisis. Anteriormente esta actividad era la principal ocupación económica de la población, pues, según información del alcalde municipal generaba empleo para casi el 65% de la población, actualmente lo hace en un 2% o 3%.

**d. Características sociales.** Los problemas sociales que padece Cabricán son diversos. Aquí sólo se hablará de los principales. En educación el municipio tiene un alto porcentaje de analfabetismo, deserción escolar, bajo nivel de cobertura a nivel primario, etc. En salud existe un gran déficit en infraestructura de saneamiento ambiental y la presencia del Ministerio de Salud para prestar los servicios correspondientes es muy débil.

En cuestión de nivel de desarrollo humano Cabricán se ubican en el nivel 3 considerado el nivel más bajo. Esto coincide con el nivel de pobreza calculado para el municipio. Según el Informe de Desarrollo Humano 2001 del PNUD los respectivos índices son: 0.5273 y 93.9.

**Tabla 1.**

### Algunos indicadores sociales del Municipio de Cabricán

CONCEPTO	PORCENTAJE	AÑO
Índice de Desarrollo Humano	0.5273	2001
Pobreza General	93.9	2001
Índice de Autonomía Fiscal	0.10	1999
Alfabetismo	67.1	Proyección 1999
Tasa Incorporación al Sistema Educativo	43.63	2000
Tasa de Deserción a Nivel Primario	11.98	2000

**FUENTE:** Elaboración propia con datos del Informe de Desarrollo Humano 2001 del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

### 3. Municipio de Huitán

#### a. Datos generales

*Extensión territorial:* 16 km<sup>2</sup>

*Altitud:* 2,600 msnm

*Densidad Poblacional:* 289 habitantes/ km<sup>2</sup>

*Clima:* Frío

*Lenguas:* Mam y Castellano

*División Política-Administrativa:* El municipio cuenta con casco urbano, y centros poblados ubicados en la periferia urbana, y en el área rural con 4 cantones, estos se subdividen en aldeas y parajes. En total existen 47 centros poblados, en el área rural habitan la mayoría de los vecinos de esta población.

**b. Población.** Según el censo del año 2002 la población total del municipio de Huitan es de 9,769 habitantes, de los cuales 9,216 pertenecen al grupo étnico maya mam y solamente 553 al grupo étnico llamado ladino. Con relación al sexo 4,548 son hombres y 5,221 son mujeres. La población se encuentra ubicada en un 92,67% en el área rural.

El número promedio de miembros por familia es de 8 personas. El 90,82% de la población es maya-mam. Las religiones mayoritarias que se profesan son la católica y la

evangélica; correspondiente al 44,74% de evangélicos, un 34,67% católicos y el 18,22% dicen profesar otra religión.

Txemuj posee, según el censo del INE 2002, 352 personas, las cuales podríamos decir que tienen relación directa con el bosque analizado en este estudio.

**c. Actividades forestales.** En el municipio de Huitán, la cobertura forestal es relativamente pequeña, sin embargo existe una extensión de bosques comunales, área protegida por las autoridades municipales. En áreas particulares o privadas también se cuenta con bosques; tanto en los bosques comunales como los particulares predominan las especies forestales como el pino y en bosques mixtos de pino con robles, encino, cipreses y alisos, además una gran variedad de arbustos que son utilizados como forraje para alimentación del ganado menor y como plantas medicinales.

#### **IV. OBJETIVOS**

**A. General**

Realizar el análisis correspondiente al cambio de carbono almacenado en cinco bosques municipales situados en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, muestreados en los años 2004 y 2008.

**B. Específicos**

1. Conocer los cambios de biomasa dados en el transcurso de los 4 años para los diferentes componentes en los cinco bosques.
2. Conocer la dinámica que exista entre los diferentes componentes del bosque en el transcurso de los 4 años.
3. Elaborar mapas que muestren las variaciones ocurridas en dichos bosques durante el transcurso de 4 años.
4. Proveer un aporte significativo en el conocimiento de los bosques municipales y comunales situados en el altiplano del país, proporcionando información del cambio de carbono y biomasa existido durante cuatro años.
5. Proporcionar información del carbono capturado actualmente en los bosques en estudio para posibles y futuras negociaciones de bonos de carbono o pagos por servicios ambientales.



## V. METODOLOGÍA

### A. Selección de sitios

En el 2004 fueron seleccionados 18 bosques en todo el estudio en 4 departamentos del altiplano; sin embargo en el año 2008 se seleccionaron 5 sitios en los que se realizó una revisita. Los parámetros utilizados para la selección de los sitios fueron las condiciones de pobreza y pobreza extrema así como la degradación de los recursos forestales como consecuencia de la presión social en dichas comunidades. Sin embargo, las áreas seleccionadas tiene un gran potencial para el desarrollo de sistemas forestales, enmarcado por la vocación de los suelos, las condiciones climáticas, el posicionamiento de las áreas en cabeceras de cuencas, el interés municipal y la fortaleza de las instituciones que funcionan a nivel local y municipal.

Los bosques seleccionados para revisita en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango dentro con el apoyo del Centro de Estudios Ambientales de la UVG, donde se seleccionaron 10 bosques y 5 de ellos se seleccionaron para realizar una segunda medición, mismos que se tomaron para este estudio, y se presentan a continuación.

**Tabla 2.**

Descripción de los bosques seleccionados para revisita, con fines de cuantificación de cambio de carbono existente entre los años 2004 al 2008.

No.	Departamento	Municipio	Comunidad	Bosque	Tipo de Tenencia <sup>3</sup>
	San Marcos	San José Ojotenam	Aldea Esquipulas	Las Ventanas	Municipal

**Cont. Tabla 2**

---

<sup>3</sup>**Tipo de tenencia:** Bosque Municipal constituye un área bajo administración municipal, aunque el beneficio sean personas de una o más comunidades. Bosque Comunal constituye un área administrada por una comunidad y debidamente inscrita, donde los beneficios son para dicha comunidad.

No.	Departamento	Municipio	Comunidad	Bosque	Tipo de Tenencia <sup>4</sup>
2	San Marcos	San José Ojetenam	Cantón Guadalupe	Guadalupe	Municipal
3	Quetzaltenango	Cabricán	Aldea Las Ciénagas	Ojo de Agua	Municipal
4	Quetzaltenango	Cabricán	Aldea Las Ventanas	El Cebollín	Municipal
5	Quetzaltenango	Huitán	Aldea Paxoj	Txemuj	Municipal

### B. Proceso de mapeo y selección de lugares de muestreo

Se realizó la medición de los cinco bosques municipales en los dos departamentos a través de los equipos de las oficinas forestales municipales con el apoyo del personal del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala; en donde en el año 2004 se realizó la identificación, definición de límites y cálculo del área total de cada bosque, seleccionándose los puntos de muestreo, por lo que para el 2008 se utilizaron estos mismos puntos.

### C. Materiales y equipo utilizado

- \* Material cartográfico (fotografías aéreas, mapas, hojas cartográficas e imágenes satelitales)
- \* Software especializado (Arc GIS 9.2, SAS, ArcMap, SPSS)
- \* Cinta diamétrica, cinta métrica, vernier (calibrador)
- \* Clinómetro, SUNNTO, Hipsómetro
- \* GPS, brújulas, radios transmisores

---

<sup>4</sup>**Tipo de tenencia:** Bosque Municipal constituye un área bajo administración municipal, aunque el beneficio sean personas de una o más comunidades. Bosque Comunal constituye un área administrada por una comunidad y debidamente inscrita, donde los beneficios son para dicha comunidad.

- \* Bolsas de papel, bolsas de Nylon, cilindros para muestreo de suelos
- \* Balanzas de resorte (100 gr, 1 Kg, 5 Kg y 20 Kg) y balanza de precisión (electrónica)
- \* Etiquetas, marcadores, lápices
- \* Formatos para toma de datos de campo
- \* Recipientes plásticos para secado de muestras
- \* Horno de convección y analizador de elementos para carbono en el suelo.

#### **D. Diseño de la parcela de medición de carbono**

El diseño de las parcelas usadas para la toma de datos en los cinco bosques ha sido una combinación de diferentes trabajos hechos por distintos autores en el transcurso de los años los cuales han sido aplicados al nivel de detalle requerido y a los recursos con los que se cuentan (principalmente el tiempo y la economía). Entre los estudios que se han realizado se encuentran los hechos por Brown (1996), Brown *et al.* (1989), Márquez (2000), Lee (2002), Córdova (2002), Arreaga (2002), incluyendo también los estudios de CARE-UVG (Castellanos, E. *et al.*, 2008 y 2006).

En general, la metodología consistió en obtener datos de campo de inventarios, peso y/o volumen de individuos para obtener un dato estimado de biomasa por unidad de área. El peso de árboles adultos se estimó a través del uso de ecuaciones de regresión propuestas en la literatura para Guatemala (ver tabla 3) que relacionan mediciones alométricas con biomasa, con lo cual se necesitó únicamente los datos de DAP y altura del individuo así como el tipo de bosque (latifoliado o conífera), y para ello, el estudio se apoyó en criterios técnicos y estadísticos que validaron los datos con un nivel de significancia óptima.

#### **Tabla 3.**

Fórmulas utilizadas en el cálculo de biomasa en el componente arbóreo del bosque para latifoliadas y coníferas.

No.	Especie	Ecuación	A	b	R2	Limitantes	Fuente
1	Conífera genérica	$Y = \exp \{ a + b \cdot \ln(\text{DAP}) \}$	-1.17	2.119	0.97	Especies de distintos países. DAP's de 20-80cm	Brown, 1996
2	Latifoliadas genéricas	$Y = \exp \{ a + b \cdot \ln(\text{DAP}) \}$	-2.134	2.53	0.97	Especies de distintos países. DAP's 5-148cm	Brown, 1996.

### E. Metodología de la medición de captura de carbono en los bosques municipales

Los equipos técnicos de las oficinas municipales en conjunto con los equipos técnicos de campo del proyecto MIBOSQUE de CARE, ejecutaron jornadas de medición y captura de información de acuerdo al diseño de monitoreo a aplicar para cada bosque. La información capturada fue ingresada y procesada en el software diseñado para tal actividad y se generó los informes que arrojaron los datos de la medición de carbono. A continuación se detallan las actividades realizadas en el inventario de carbono:

**1. Inventario forestal.** El objetivo del levantamiento de información dasonométrica radica en la importancia de incorporar el total de clases diamétricas que posee el bosque, es decir, se pretendió considerar todas las edades del bosque como una forma de estimar con mayor precisión la densidad de carbono por unidad de área (brinzales, latizales y fustales). Adicionalmente se tomó en cuenta un factor de expansión de biomasa debido a que originalmente, en la toma de datos para realizar inventarios forestales, la biomasa foliar es despreciada y para inventarios de carbono este dato es imprescindible.

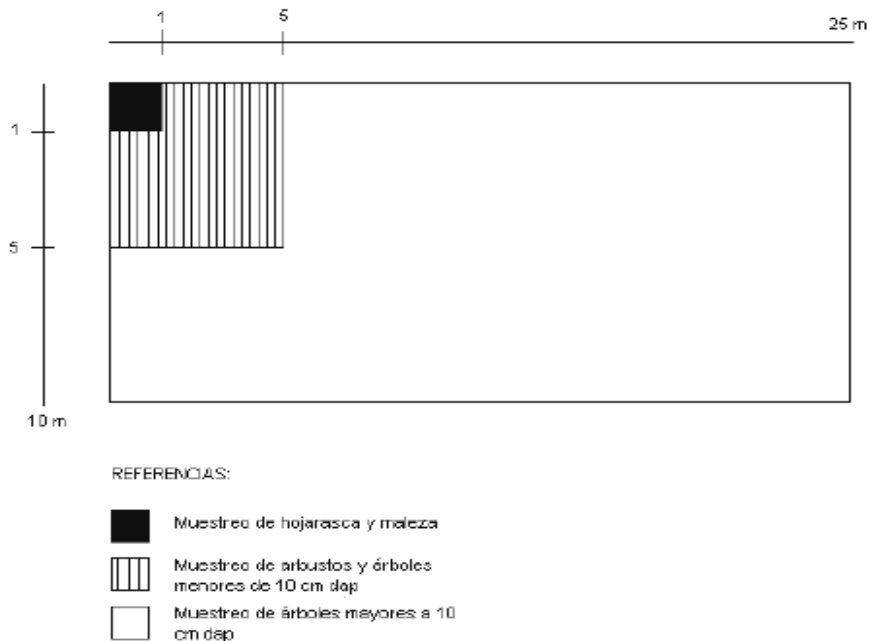
En el 2004, el tamaño de la muestra seleccionada dependió de criterios como tamaño y variabilidad del bosque. La distribución de las parcelas fue al azar basándose en un mapa temático donde se identificó el área efectiva de bosque (área del proyecto). Dentro del área

del proyecto se generaron puntos al azar usando una extensión del software ArcGis, el cual ubicó las coordenadas de las parcelas a medir a través de un geoposicionador global (GPS). En el 2008 estos mapas ya estaban generados por lo que se procedió a buscar los puntos muestreados en el 2004 con la tecnología GPS.

La parcela de inventario fue de forma rectangular, de 25 m de largo y 10 m de ancho (0.025 ha), pudiendo variar sus dimensiones dependiendo del factor de corrección por la pendiente del terreno. Su orientación dependió directamente del relieve con el fin de hacer un muestreo con la mayor representatividad posible. Del inventario forestal se obtuvieron las variables primarias: Diámetro a la altura del pecho (DAP) medido directamente a una altura de 1.30 m sobre el suelo; altura estimada total y como mínimo, el nombre común de la especie. Simultáneamente, se obtuvieron los datos generales de la unidad de muestreo según se muestra en la boleta de campo (ver Anexo K). La Figura 3 muestra el aspecto general de las unidades de muestreo para la medición de carbono.

**Figura 3.**

Modelo de unidad de muestreo para el registro de variables en la medición de carbono



(Castellanos, E. y Flores C. 2006).

El muestreo comprendió la incorporación de sub parcelas anidadas dentro de la parcela grande de la siguiente forma: para el muestreo de fustales (individuos mayores a 10 cm DAP) se utilizó la parcela de 10 X 25 m; para arbustos y latizales (individuos entre 1 y 9.9 cm DAP) la parcela de 5 X 5 m y para el registro de suelo, maleza y brinzales (individuos con 0.3 m de diámetro y 1.5 m de altura) la parcela de 1 x 1 m.

Los datos obtenidos en la fase de campo se analizaron, proporcionando datos de Toneladas de carbono por hectárea, carbono total encontrado en cada uno de los bosques, el cambio en el almacenamiento de carbono encontrado desde el año 2004 hasta el presente, y el análisis de la dinámica en el almacenamiento que ha tenido cada componente del bosque. (Castellanos, E. y Flores C. 2006).

## **2. Estimación de biomasa en campo**

**a. Vegetación arbórea y arbustos.** Dentro de cada sub parcela, se seleccionó al azar de 2-3 individuos de arbustos que fueron tumbados con el fin de determinar su peso total en campo.

Para el caso de los individuos arbóreos principalmente para el género *Pinus*, se utilizaron las ecuaciones de biomasa genéricas especificadas por Brown (1996).

**b. Maleza, hojarasca y suelo.** En la parcela de 1 x 1 m, tuvo lugar el muestreo de maleza, hojarasca y suelo (Figura 3). Para el caso de la maleza y hojarasca, se colectó el total del material y fue pesado en campo. Este material fue homogenizado para seleccionar una sub muestra para la estimación de la materia seca.

El muestreo del suelo se realizó en un punto seleccionado al azar dentro de la parcela pequeña y consistió en introducir en el suelo un cilindro con volumen conocido tratando de abarcar únicamente los 10 cm superficiales. Eventualmente se distinguió entre suelo mineral y suelo orgánico, dependiendo del detalle de los horizontes.

Por cada punto de muestreo de suelos, se colectó dentro del cilindro la muestra necesaria para la determinación de su densidad aparente y el análisis de laboratorio de materia orgánica y carbono orgánico.

### **3. Análisis de muestras y carbono orgánico del suelo en laboratorio para la estimación de la biomasa seca**

a. **Materia seca.** La determinación del porcentaje de materia seca en laboratorio consistió en someter las muestras a una temperatura de 50° C durante al menos 24 horas en un horno de convección hasta obtener una masa constante. Se registró el peso antes y después del secado y su cociente constituyó la materia seca según la siguiente ecuación:

$$\boxed{\%MS = PS/PH * 100} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: %MS = materia seca de la muestra en porcentaje;

PS = Peso seco de la muestra (g);

PH = Peso húmedo de la muestra (g).

La conversión de peso en campo a biomasa estará dada por la ecuación 2 de la siguiente forma:

$$\boxed{BT = PHc * MS} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde: BT = Biomasa (Kg.) de la hojarasca, maleza o árboles;

PHc = Peso húmedo total registrado en campo (Kg.);

MS = materia seca de la muestra.

**b. Suelo.** En el caso de la determinación de la densidad aparente, se secaron las muestras al ambiente por tres días. Posteriormente se tamizó la muestra a través de un tamiz No. 10 (2 mm de apertura) para separar el suelo fino de las rocas y grava. El peso de este suelo fino se registró en laboratorio para que junto al volumen ya determinado del cilindro, se obtuviera el valor requerido (ecuación 3).

$$\boxed{D.ap. = PSH / Vol}$$

**(Ecuación 3)**

Donde: D.ap. = Densidad aparente del suelo (g/cc);

PSH = Peso seco (g);

Vol = Volumen del cilindro (cc).

En lo referente a la determinación del contenido de materia orgánica y carbono orgánico de las muestras de suelo, se procedió a analizarlas en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala, utilizando un analizador de carbono y nitrógeno de marca Thermo<sup>MR</sup> y modelo Flash EA 1112.

Finalmente, la ecuación utilizada para obtener los datos de carbono en el suelo fue la siguiente:

$$\boxed{Cs = Prof. * D.ap. * \%C.O.}$$

**(Ecuación 4)**

Donde: Cs = Carbono total en el suelo en los primeros 10 cm de suelo (T);

Prof. = Profundidad del muestreo (cm);

D.ap. = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>);

%C.O. = Contenido de carbono orgánico en el suelo.

**c. Fracción de carbono.** Del total de muestras de hojarasca colectadas en campo, se seleccionó al azar una proporción para la estimación de la fracción de carbono respecto a la biomasa total seca con el fin de constatar el dato de literatura (FC = 0.5).

**4. Metodología de cálculo de gabinete.** Con las boletas obtenidas en la fase de campo se procedió a ingresar los datos en formato electrónico para su análisis correspondiente. Se realizó un formato en Microsoft Excel<sup>MR</sup> en el que se ingresaron por aparte cada uno de los componentes del bosque, que incluyeron árboles, arbusto, maleza, hojarasca y suelo. El cálculo de carbono en cada componente del suelo fue realizado en el software CARFOR el cual fue desarrollado para la sistematización de la información de monitoreo y cálculo el carbono secuestrado o almacenado en los bosques que han recibido apoyo por parte de las oficinas forestales del área de cobertura del proyecto.

**a. Biomasa de árboles y arbustos.** La categoría *arboles* incluye plantas arbóreas que tengan un diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm y con una altura mayor a 5 metros. La categoría de *arbustos* incluye plantas cuyo diámetro este por debajo de 10 cm y su altura generalmente sea menor de 5 metros. Estos generalmente componen el sotobosque del ecosistema.

Estos datos fueron tomados principalmente para obtener la biomasa viva que estos contenían en cada una de las parcelas medidas. Luego de ingresar a formato electrónico los datos de DAP y altura.

Dentro de cada uno de los componentes del inventario, fueron ingresados los datos de número de parcela, DAP y altura (para árboles y arbustos), especie en donde se utilizaron las ecuaciones ya mencionadas con sus respectivos coeficientes para el cálculo de la biomasa.

En fase de gabinete se realizaron todos los cálculos respectivos para la generación de todos las tablas que se presentan en la sección de resultados y anexo B, generando datos de carbono/ha, densidad poblacional, frecuencias en intervalos diamétricos, áreas basales, entre otros.

**b. Biomasa de hojarasca y maleza.** La biomasa obtenida de la maleza con las ecuaciones 1 y 2 debe incluirse en la biomasa arriba del suelo junto con la de los tallos leñosos. La biomasa de hojarasca es un dato aparte que incluye el material muerto sobre la superficie del suelo. Los valores obtenidos (en gr) se dividen entre 1,000,000 para obtener

toneladas. Este valor se multiplica por 0.5 para obtener toneladas de carbono fijado, dividiendo este valor dentro del total e metros muestreado y multiplicándolo por 10,000 m<sup>2</sup>, de donde se obtiene tC/ha (Márquez, L. 2000).

c. ***Carbono en el suelo.*** La biomasa se calculó según los resultados obtenidos en el laboratorio, utilizando las ecuaciones 3 y 4, calculándolo a partir de los valores de porcentaje de carbono y densidad aparente.(Castellanos, E. y Flores C. 2006).

**5. Variables respuestas.** La variable respuesta principal en este estudio fue la cuantificación del cambio en carbono almacenado en cada uno de los bosques y en sus componentes desde el año 2004 al 2008. En donde primero se calculó la biomasa de cada uno como se mostró en la sección anterior, y luego se realizó el cálculo de carbono para cada una de las parcelas, convirtiéndolo a tC en la parcela y luego a tC/ha dividiendo entre el área de la parcela para que por último este dato pueda servir para realizar el cálculo total de tC en cada bosque multiplicando por el área total del bosque. La conversión de biomasa a carbono fijado incluyó la multiplicación del factor 0.5<sup>5</sup>, que es el encontrado en las literaturas citadas.

A partir de este valor ya se toman como variables respuestas secundarias el área basal del estrato arbóreo, la frecuencia de individuos por hectárea y por supuesto el cambio existido entre el año 2004 y 2008.(Castellanos, E. y Flores C. 2006).

**6. Comparación estadística.** Debido a que el objetivo principal del estudio fue el analizar el cambio existido en el carbono almacenado entre el 2004 y el 2008, es de suma importancia conocer si dicho cambio para cada bosque fue significativo o no. Por tal motivo se realizó una prueba t de student para conocer si debido a la varianza hubo una diferencia de tC/ha que fuera significativa entre los datos obtenidos en el 2008 con respecto a los obtenidos en el 2004. Esta prueba se realizó para cada uno de los cinco bosques en estudio. La prueba utilizada fue la t de student independiente o simple, ya que en primer lugar no se tomó el mismo número de parcelas en los dos años, y en las que se tomó el

---

<sup>5</sup>Este valor se obtiene a partir de una serie de cálculos matemáticos que convierte los Kg de biomasa a toneladas de carbono por hectárea.

mismo número no correspondía exactamente al mismo ID de parcela. De haber sido así la prueba a utilizar hubiese sido la de t student con datos pareados.

Para comparar los datos de tonelaje en ambos años para cada bosque, fue necesario primero calcular el error estándar que existió entre las mediciones de ambos años para cada una de las parcelas de los bosques, obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$S_{x_1-x_2} = \sqrt{\frac{\sum x_1^2 + \sum x_2^2}{n_1 + n_2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

En donde:  $S_{x_1-x_2}$  = Error estándar de la diferencia entre las medias de tC/ha de las parcelas medidas en el 2004 y 2008.

$x_1$  = tC/ha de cada parcela medida en el 2004.

$x_2$  = tC/ha de cada parcela medida en el 2008.

$n_1$  = Número de parcelas medidas en el 2004.

$n_2$  = Número de parcelas medidas en el 2008.

(Devore L. 2008)

Obtenido el error estándar, se procedió a calcular el valor o razón “T”, el cual fue nuestro parámetro de comparación con respecto a valores críticos encontrados en una tabla para Distribuciones t. El valor T se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{x_1-x_2}}$$

En donde:  $\bar{X}_1$  = Promedio de tC/ha de todas las parcelas del bosque en el 2004.

$\bar{X}_2$  = Promedio de tC/ha de todas las parcelas del bosque en el 2008.

$S_{x_1-x_2}$  = Error estándar de la diferencia entre las medias de tC/ha de las parcelas medidas en el 2004 y 2008.

(Devore L. 2008)

Con los grados de libertad (GL) para cada bosque<sup>6</sup> se buscó el valor  $t$  de la tabla con un nivel de confianza de 95%, es decir con 0.05. Con estos datos se validó cualquiera de las dos hipótesis formuladas, en donde si  $T < t$  (0.05) se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y si  $T > t$  (0.05) se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), bajo un nivel de confianza del 95%. Las hipótesis formuladas son las siguientes:

$H_0$ : No existe diferencia significativa en el las mediastC/ha obtenidas en el bosque entre los años 2004 y 2008.

$H_1$ : Existe una diferencia significativa en el las mediastC/ha obtenidas en el bosque entre los años 2004 y 2008.

Este análisis se encuentra detallado para cada bosque en el Anexo C.

## **F. Metodología para la generación de mapas.**

Debido al error que pudo existir entre las mediciones del 2004 y 2008 por motivo de no muestrear exactamente los mismos sitios se decidió elaborar mapas que muestren la variación posicional de las parcelas del 2008 con respecto a las establecidas en el 2004 en cada uno de los bosques. Además se elaboraron mapas de las parcelas sobrepuestas en capas de información que muestran las pendientes del terreno en cada uno de los lugares.

Por otro lado, debido a que actualmente no existe una estratificación del bosque, si no que las parcelas medidas se realizaron al azar, se tomó en cuenta la elaboración de mapas de cada bosque con datos de áreas basales y carbono encontrado (en datos de tC/ha) sobre las parcelas de cada bosque para proponer una estratificación de cada bosque para futuras mediciones (Anexos del D al I).

Todos los mapas fueron elaborados con la colaboración del personal del laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de la Universidad del Valle de Guatemala,

---

<sup>6</sup>Los GL se obtienen de sumar el número de parcelas del 2004 y el número de parcelas del 2008 menos 2 ( $n_1 + n_2 - 2$ ) Fuente: Devore L. 2008.

utilizando aparatos de geoposicionamiento global marca Garmin GPS II y V con una precisión de 5 m y el software Arc GIS 9.2 para la realización de mapas y cuantificación de las áreas de interés.

**1. Utilización de buffers:** Los mapas que muestran “buffers” se generaron con el propósito de observar la variación posicional que se obtuvo al medirlas en el 2008, respecto a la posición tomada en el 2004, con el fin de determinar una posible fuente de error a la hora de comparar el carbono almacenado en ambos momentos.

Los buffers fueron colocados a 10, 20 y 30 m y en el centro de cada uno se encuentran las posiciones de las parcelas medidas en el 2004, indicando si la posición de la parcela medida en el 2008 se encuentra dentro de 10, 20 o 30 m a la redonda del punto inicial (2004). La razón esencial es que los algunos GPS´s pueden tener un error máximo de 30 m, entonces, si la parcela medida en el 2008 se encuentra fuera de este perímetro se deberá a factores ajenos al funcionamiento o precisión de este equipo. Estos mapas se encuentran en los anexos E, F, G, H e I, y corresponden a los números 6, 9, 12, 15 y 18.

## **G. Referencia de obtención de metodología**

Se debe hacer referencia que toda la información base del stock de carbono en los bosques para el 2004 fue obtenida por el Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad del Valle de Guatemala, quienes generaron la metodología para la obtención de la información y las muestras. La medición realizada en el 2008 fue parte del mismo proyecto que ya estaba en proceso, con el objetivo de comparar el estado del almacenamiento de carbono en los cinco bosques.



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. BOSQUE LAS VENTANAS

#### 1. Análisis del carbono encontrado

**Tabla 4.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Las ventanas, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos, en el año 2008.

<b>BOSQUE: Las ventanas</b>						
<b>ÁREA (ha.):</b>	203.15	Año 2,008				
<b>ESTRATO: 1</b>						
<b>Parcela</b>	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasca TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	230.15	0.00	0.00	5.90	-	236.05
<b>PARCELA: 2</b>	20.64	1.14	0.00	3.75	-	25.53
<b>PARCELA: 3</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	52.37	52.37
<b>PARCELA: 4</b>	1.67	0.00	1.50	0.00	-	3.17
<b>PARCELA: 5</b>	80.94	0.00	0.00	2.58	-	83.52
<b>PARCELA: 7</b>	232.89	1.95	0.00	2.74	-	237.58
<b>PARCELA: 8</b>	352.60	3.00	0.00	1.19	-	356.79
<b>PARCELA: 9</b>	50.43	0.29	0.13	1.57	-	52.42
<b>PARCELA: 10</b>	0.00	0.13	0.78	0.00	48.93	49.84
<b>PARCELA: 11</b>	49.17	0.00	0.00	2.47	-	51.65
<b>PARCELA: 12</b>	0.00	5.08	1.14	0.00	-	6.23
<b>PARCELA: 13</b>	0.00	0.37	0.82	0.00	-	1.19
<b>PARCELA: 14</b>	326.48	0.00	0.00	6.25	17.78	350.52
<b>PARCELA: 15</b>	526.79	0.89	0.00	2.81	-	530.49
<b>PARCELA: 16</b>	0.00	0.37	1.32	0.00	-	1.69
<b>PARCELA: 17</b>	73.47	1.14	0.00	2.59	-	77.21
<b>PARCELA: 18</b>	11.61	0.75	1.34	0.88	-	14.58
<b>PARCELA: 19</b>	111.34	0.00	0.00	3.63	18.60	133.57
<b>PARCELA: 20</b>	1.00	0.00	1.72	2.92	-	5.64
<b>PARCELA: 21</b>	135.62	0.40	0.10	0.59	-	136.71
<b>PARCELA: 22</b>	0.00	0.12	0.00	1.22	39.77	41.11
<b>PARCELA: 23</b>	120.80	0.00	0.00	0.85	-	121.65
<b>PARCELA: 55</b>	6.27	0.00	0.00	0.00	-	6.27
<b>Promedio</b>	101.39	0.68	0.39	1.82	35.49	<b>139.77</b>
<b>Desviación Estándar</b>	141.76	1.22	0.60	1.85	16.45	<b>142.73</b>
<b>Carbono total para el bosque:</b>	<b>28,393.64</b>	<b>Toneladas de Carbono (tC)</b>				

Fuente: Cruz, L. 2009

**Tabla 5.**

Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Las Ventanas, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos entre los años 2,004 y 2,008.

<b>BOSQUE: Las Ventanas</b>			
<b>ÁREA (ha.):</b>	203.15		
<b>ESTRATO: 1</b>			
<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	59.40	236.05	176.65
<b>PARCELA: 2</b>	48.62	25.53	-23.09
<b>PARCELA: 3</b>	----	52.37	NA
<b>PARCELA: 4</b>	29.65	3.17	-43.26
<b>PARCELA: 5</b>	46.43	83.52	-0.25
<b>PARCELA: 6</b>	83.77	----	NA
<b>PARCELA: 7</b>	16.86	237.58	220.72
<b>PARCELA: 8</b>	34.23	356.79	322.56
<b>PARCELA: 9</b>	238.36	52.42	-185.94
<b>PARCELA: 10</b>	65.46	49.84	-15.62
<b>PARCELA: 11</b>	114.52	51.65	-62.87
<b>PARCELA: 12</b>	114.42	6.23	-108.19
<b>PARCELA: 13</b>	385.84	1.19	-384.65
<b>PARCELA: 14</b>	70.60	350.52	279.92
<b>PARCELA: 15</b>	481.67	530.49	48.82
<b>PARCELA: 16</b>	177.06	1.69	-175.37
<b>PARCELA: 17</b>	130.99	77.21	-53.78
<b>PARCELA: 18</b>	227.73	14.58	-213.15
<b>PARCELA: 19</b>	75.52	133.57	58.05
<b>PARCELA: 20</b>	103.23	5.64	-97.59
<b>PARCELA: 21</b>	284.70	136.71	-147.99
<b>PARCELA: 22</b>	739.62	41.11	-698.51
<b>PARCELA: 23</b>	296.06	121.65	-174.41
<b>PARCELA: 55</b>	----	6.27	NA
<b>Promedio</b>	178.22	139.77	<b>-38.45</b>
<b>Desviación Estándar</b>	157.42	142.73	<b>-14.69</b>
<b>Cambio de Carbono total para el bosque Las Ventanas (tC):</b>		<b>(7,811.12)</b>	

Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

Para poder comparar el cambio en el almacenamiento de carbono en el bosque Las Ventanas y en los demás bosques revisitados, debemos tomar en cuenta que en varias ocasiones no se logró llegar al mismo sitio que el muestreado en el año 2004, factor que nos lleva a identificar cambios en los resultados.

Para el bosque Las Ventanas uno de los factores a tomar en cuenta es que para el año 2004 fueron muestreadas en el bosque un total de 22 parcelas, mientras que el año 2008 fueron 23.

Del dato anterior se podría generar la idea de que el muestreo del 2008 fue un poco más confiable que el realizado en el año 2004, sin embargo, si observamos el cambio en la cantidad de carbono entre ambos años, podemos encontrar una *disminución* en carbono almacenado por hectárea (-38.45ton C/ha) que corresponden a un decremento del -21.57% del carbono almacenado en el año 2004 (ver tablas 19 y 20). Esta tasa negativa nos indica una disminución directa del bosque o de la cantidad de árboles allí encontrada, ya que este porcentaje es la sumatoria de los cambios en cada uno de los componentes. Es importante señalar que el único componente de este bosque que manifestó un incremento en el tonelaje de carbono es el de árboles, mientras que en los demás componentes (especialmente suelos y hojarasca) se dio una clara disminución de dicho tonelaje por lo que en la sumatoria el tonelaje general por hectárea disminuyó.

La desviación estándar fue relativamente menor en la última toma de datos que en 2004, sin embargo esta es mayor que la misma media de tonelaje de carbono/ha. Esto se genera a partir de que en las 23 parcelas muestreadas en el 2008, se encuentran valores que van desde 1.19 hasta más de 500 ton C/ha.

Uno de los factores causantes más importantes de esta variación es la toma de datos de parcelas en lugares que no corresponden exactamente a los lugares muestreados en el año 2004, por lo que muchas de las parcelas (no solamente en este bosque, sino también en los 4 restantes), pueden aparecer “corridas” o en lugares que incluso no existe vegetación arbórea ni arbustos ni hojarasca.



En el análisis de carbono que se realiza en este documento, es importante resaltar que el estrato más significativo en cuanto al porcentaje de carbono que aporta es el “estrato arbóreo”, por lo que es importante realizar un análisis más detallado de este estrato y observar su cambio en composición (además del cambio en biomasa). Por tal razón es de suma importancia realizar un análisis en la distribución de frecuencias agrupadas en intervalos diamétricos y por grupos de coníferas (gimnospermas) y latifoliadas (angiospermas).

En esta sección solamente aparecen cuadros y gráficas de las distribuciones diamétricas correspondientes a la toma de datos para los cinco bosques en el año 2008. Las correspondientes al año 2004 se encuentran en el Anexo B.

Observando la Tabla 6 y Figura 4, se ve claramente que el bosque Las Ventanas es un bosque de Coníferas, ya que el 92.5% de su composición corresponde a este grupo. Se encuentra un 7.5% de individuos latifoliados con diámetros menores y ningún árbol suficientemente maduro para aportar una buena cantidad de biomasa al sistema.

Como se indicó anteriormente, en el 2008 se muestreó 1 parcela más que el 2004, año en donde se observa que la densidad de árboles es de 120 arb/ha (Ver Tabla 27, Anexo B), observando que la proporción de coníferas aumentó de un 65.15 a 92.5% en el 2008. El cambio significativo en la composición del estrato arbóreo es la disminución en la proporción de latifoliadas, además, en el 2008 se observan 3 cimas en la frecuencias: en los intervalos de 10-20 cm, 31-40 cm y >60 cm, por lo que se aprecia un bosque más maduro que el encontrado en el 2004, incluso en este estrato se presenció un aumento en la biomasa (por ende en carbono fijado) por lo que al final, la disminución encontrada en general en el bosque no fue debido al estrato arbóreo sino al carbono encontrado en el suelo y en la hojarasca.

## B. BOSQUE GUADALUPE

### 1. Análisis del carbono encontrado

**Tabla 7.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Guadalupe, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos, en el 2008.

BOSQUE: Guadalupe						
ÁREA (ha.):	31.13	Año 2,008				
ESTRATO: 1						
Parcela	Árboles TC/Ha	Arbustos TC/Ha	Maleza TC/Ha	Hojarasca TC/Ha	Suelo TC/Ha	Total TC/Ha
PARCELA: 1	134.21	0.44	0.00	3.41	-	138.06
PARCELA: 2	122.41	4.02	0.00	0.00	36.44	162.86
PARCELA: 3	138.42	1.72	0.00	3.80	-	143.95
PARCELA: 4	56.45	3.27	0.00	2.74	-	62.47
PARCELA: 5	93.03	0.10	0.00	3.61	-	96.73
PARCELA: 6	140.39	0.00	0.00	3.09	-	143.48
PARCELA: 7	71.02	4.65	0.00	2.71	-	78.38
PARCELA: 8	155.17	5.71	0.00	1.77	-	162.65
PARCELA: 9	142.40	0.03	0.00	3.87	-	146.31
PARCELA: 10	99.94	0.01	0.00	0.44	-	100.38
PARCELA: 11	100.27	0.00	0.00	3.60	-	103.87
PARCELA: 12	165.11	0.01	0.00	0.66	8.50	174.28
PARCELA: 13	164.45	3.92	0.00	1.55	20.89	190.80
<b>Promedio</b>	121.79	1.84	0.00	2.40	21.94	<b>147.97</b>
<b>Desviación Estándar</b>	34.91	2.16	0.00	1.37	14.00	<b>37.70</b>
<b>Carbono total para el bosque:</b>	<b>4,606.40</b>	<b>Toneladas de Carbono (tC)</b>				

Fuente: Cruz, L. 2009

**Tabla 8.**

Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Guadalupe, municipio de San José Ojetenam, departamento de San Marcos entre los años 2,004 y 2,008.

<b>BOSQUE: Guadalupe</b>			
<b>ÁREA (ha.):</b>	31.13		
<b>ESTRATO: 1</b>			
<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	247.18	138.06	-109.12
<b>PARCELA: 2</b>	153.76	162.86	9.10
<b>PARCELA: 3</b>	96.18	143.95	47.77
<b>PARCELA: 4</b>	251.83	62.47	-189.36
<b>PARCELA: 5</b>	46.34	96.73	50.39
<b>PARCELA: 6</b>	102.30	143.48	41.18
<b>PARCELA: 7</b>	557.50	78.38	-479.12
<b>PARCELA: 8</b>	----	162.65	NA
<b>PARCELA: 9</b>	324.73	146.31	42.96
<b>PARCELA: 10</b>	103.35	100.38	-16.19
<b>PARCELA: 11</b>	116.57	103.87	20.76
<b>PARCELA: 12</b>	83.11	174.28	13.75
<b>PARCELA: 13</b>	160.53	190.80	190.80
<b>Promedio</b>	188.43	147.97	<b>-40.46</b>
<b>Desviación Estándar</b>	132.85	37.70	<b>-95.15</b>
<b>Cambio de Carbono total para el bosque Guadalupe (tC):</b>		<b>(1,259.52)</b>	

\*Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

En el bosque Guadalupe, también se experimentó una *disminución* del total de tonelaje por hectárea, con respecto al año 2004. En este bosque se muestreó una parcela mas en el 2008 (13 parcelas), por lo que la diferencia en el tonelaje y su desviación estándar depende estrictamente de la forma o variaciones en el muestreo de ambos años. Es decir, que la disminución puede ser producto de un aprovechamiento del bosque así como la toma de datos del 2008 en áreas no correspondientes a las del 2004. Comparando la disminución

de carbono de este bosque con el de Las Ventanas, encontramos que ambos bosques tuvieron una tasa de decrecimiento muy similar en el volumen de carbono (ton C/Ha) y un porcentaje parecido de disminución del tonelaje (ver Tabla 16). En el presente año, se encontraron en promedio **40.46** ton C/ha menos que las encontradas en el año 2004.

Lo positivo de este bosque es la disminución considerable de la desviación estándar, la cual en el 2008 fue de 37.70 ton C/ha, ya que el intervalo de ton C va desde los 60 hasta los 190 ton C/ha, lo que hace mucho más baja esta variación en comparación a las 132.85 ton C/ha del año 2004 (ver Tabla 6).

En los únicos componentes donde se presentó un aumento de tonelaje fueron en arbustos y suelo. En este bosque solamente en 3 de las 13 parcelas realizadas se tomaron datos de carbono de suelo, por lo que pueda ser que el dato dado no sea tan representativo. Sin embargo el tonelaje es muy parecido al obtenido en el 2004 (tablas 18 y 23).

Lo más importante del cambio en este bosque es la variación obtenida en las tC/ha en las diferentes parcelas para los dos años, es decir, en el 2004 las parcelas muestran datos desde 46 hasta más de 550tC/ha, lo que promedia un mayor tonelaje por hectárea que el 2008 pero con una variación muy superior a la del 2008. Lo que lleva concluir que la medición del 2008 fue más confiable en ausencia de una estratificación adecuada que el año 2004.

## **2. Análisis de distribuciones diamétricas**

### **Tabla 9.**



número de individuos en los intervalos de 51-60 y >60 cm de DAP, pero hubo un decremento significativo en el intervalo de 41-50 cm. Por lo que aquí se observó que el estrato arbóreo contribuyó a la disminución de carbono en el bosque.

En las líneas de tendencia mostradas en la figura 5 vemos un mismo comportamiento para el grupo conífero y latifoliado que da la idea de un bosque con mucha regeneración natural y dominancia de latifoliadas la cual cambia a favor de las coníferas en el estrato superior (árboles maduros) donde se ve el efecto alelopático de las especies gimnospermas.

### C. BOSQUE OJO DE AGUA

#### 1. Análisis del carbono encontrado

**Tabla 10.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Ojo de agua, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2008.

<b>BOSQUE: Ojo de Agua</b>							
<b>ÁREA (ha.):</b>	56.49						Año 2,008
<b>ESTRATO: 1</b>							
<b>Parcela</b>	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasca TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>	
<b>PARCELA: 1</b>	145.71	6.05	0.00	5.40		157.17	
<b>PARCELA: 2</b>	189.11	0.85	0.00	5.73		195.69	
<b>PARCELA: 4</b>	157.18	0.18	0.00	0.00		157.36	
<b>PARCELA: 5</b>	241.18	3.04	0.00	7.29		251.51	
<b>PARCELA: 6</b>	81.37	0.28	0.00	6.02		87.67	
<b>PARCELA: 7</b>	218.24	1.81	0.00	9.57		229.62	
<b>PARCELA: 10</b>	403.63	0.31	0.00	8.70	43.79	456.44	
<b>PARCELA: 11</b>	192.15	1.56	0.00	4.09		197.81	
<b>PARCELA: 12</b>	255.44	0.25	0.00	13.47	16.35	285.52	
<b>PARCELA: 13</b>	125.81	1.20	0.00	8.08	49.01	184.10	
<b>PARCELA: 17</b>	162.59	1.45	0.00	7.78		171.82	
<b>PARCELA: 19</b>	330.41	0.81	0.00	4.18		335.39	

Cont. Tabla 10

<b>Parcela</b>	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasca TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>
<b>PARCELA: 24</b>	232.52	0.00	0.00	0.00		232.52
<b>PARCELA: 25</b>	111.73	5.02	0.00	6.11		122.85

<b>Promedio</b>	203.36	1.63	0.00	6.17	36.39	<b>247.55</b>
<b>Desviación Estándar</b>	86.91	1.86	0.00	3.55	17.54	<b>88.76</b>
<b>Carbono total para el bosque: 13,984.08 Toneladas de Carbono (tC)</b>						

Fuente: Cruz, L. 2009

**Tabla 11.**

Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Ojo de agua, Municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango entre los años 2,004 y 2,008.

<b>BOSQUE: Ojo de Agua</b>			
<b>ÁREA (ha.):</b>	56.49		
<b>ESTRATO: 1</b>			
<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	126.70	157.17	30.47
<b>PARCELA: 2</b>	----	195.69	NA
<b>PARCELA: 4</b>	153.40	157.36	0.06
<b>PARCELA: 5</b>	157.30	251.51	184.91
<b>PARCELA: 6</b>	66.60	87.67	-13.53
<b>PARCELA: 7</b>	101.20	229.62	99.22
<b>PARCELA: 10</b>	130.40	456.44	426.34
<b>PARCELA: 11</b>	30.10	197.81	-548.79
<b>PARCELA: 12</b>	746.60	285.52	217.72
<b>PARCELA: 13</b>	67.80	184.10	166.10
<b>PARCELA: 17</b>	18.00	171.82	151.32
<b>PARCELA: 19</b>	----	335.39	NA
<b>PARCELA: 23</b>	20.50	----	NA
<b>PARCELA: 24</b>	213.30	232.52	232.52
<b>PARCELA: 25</b>	----	122.85	NA
<b>PARCELA: 26</b>	291.10	----	NA
<b>Promedio</b>	163.31	247.55	<b>84.24</b>

Cont. Tabla 11

	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>Desviación Estándar</b>	193.84	88.76	<b>-105.08</b>

<b>Cambio de Carbono total para el bosque Ojo de Agua (tC):</b>	<b>4,758.72</b>
---	-----------------

\*Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

En el caso del bosque Ojo de Agua, en el 2008 se muestreó una parcela más de las muestreadas en el año 2004. Por otro lado existe una variación de 89 tC/ha en las parcelas muestreadas en el año 2008. Debido a que tiene una parcela más muestreada, se han tomado en este año las parcelas # 2, 19 y 25 en lugar de la # 23 y 26 del año 2004.

El bosque Ojo de Agua fue el ÚNICO bosque donde se presentó un *Aumento* en el tonelaje de carbono por ha y tonelaje total con respecto al año 2004. Este incremento fue de **84.24 ton C/ha**, lo que representa un aumento del 51.58% con respecto a la cantidad inicial (2004).

Un factor que influye en este mayor tonelaje es la ausencia de cuantificación de carbono para los componentes de maleza, hojarasca y suelo en el año 2004. Sin embargo la diferencia en dichos componentes en el año 2008 es aproximadamente de 42tC/ha que representa casi el 50% de la diferencia total (ver Tablas 21 y 26).

Con lo anterior se puede asumir que el aumento se da principalmente en el componente arbóreo, el cual oscila casi en las 50 ton C/ha.

Se puede tomar al bosque Ojo de Agua como un escenario ideal en el presente estudio, y puede ser una muestra de un excelente manejo de los recursos por parte de la comunidad. Aquí no solo se presenta un aumento significativo en el tonelaje de carbono sino que también existe una disminución considerable en la desviación estándar la cual bajó de 193.84 tonC/ha en el 2004 (que incluso es mayor que la media) a 88.76 tonC/ha en el año 2008, lo cual nos deja una mayor confianza de que las mediciones realizadas en el bosque tienen una mayor representación y credibilidad.

## 2. Análisis de distribuciones diamétricas

**Tabla 12.**

Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque  
Ojo de Agua para el año 2008

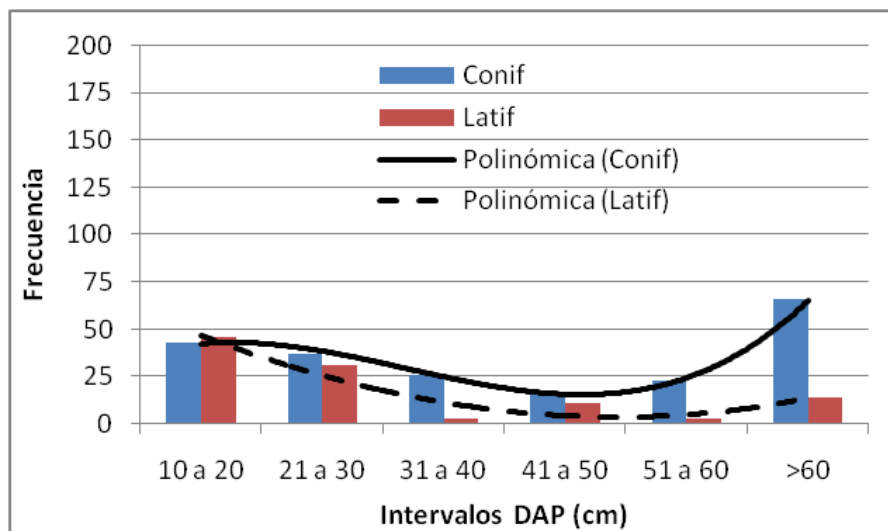
No. Parcelas: 14  
 Área bosque (ha): 56.49

Área total parcelas (ha): 0.35  
 % bosque: 0.620%

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
10 a 20	15	16	43	46	13.393	14.286
21 a 30	13	11	37	31	11.607	9.821
31 a 40	9	1	26	3	8.036	0.893
41 a 50	6	4	17	11	5.357	3.571
51 a 60	8	1	23	3	7.143	0.893
>60	23	5	66	14	20.536	4.464
<b>suma</b>	<b>74</b>	<b>38</b>	<b>211</b>	<b>109</b>	<b>66.07</b>	<b>33.93</b>
	<b>112</b>		<b>320</b>		<b>100.00</b>	

Figura 6.

Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Ojo de Agua para el año 2008.



Debido a que en este bosque la diferencia positiva en el tonelaje de C es debida al estrato arbóreo, es de suma importancia analizar la distribución diamétrica del mismo. En la figura 6 se observa la tendencia en la frecuencia de árboles para los diferentes intervalos, encontrando una alta densidad de árboles jóvenes tanto en latifoliadas y coníferas, sin embargo, no es hasta en los intervalos diamétricos mayores en donde se observa un

aumento significativo en la frecuencia con respecto a la mostrada para el año 2004 (ver Figura 12, del Anexo C). Por lo que aquí no solo aumentó considerablemente el área basal, sino también el tonelaje total de carbono.

Este puede ser un ejemplo adecuado de un bosque que fue manejado en el transcurso de los 4 años. En el 2008 disminuyó significativamente la densidad poblacional en un 44% (de 520árboles/ha en el 2004 a 320 árboles/ha); este decremento se ve mayormente reflejado en los intervalos diamétricos menores. Observando la tabla 8, la suma de la proporción de latifoliadas y coníferas para los últimos 3 intervalos (>41 cm) es de 42%, mientras que la misma suma correspondiente a la medición del año 2004 arroja un valor de 22% (Tabla 27), por lo que se concluye que fue principalmente este cambio en el estrato maduro del bosque el que generó un aumento en el tonelaje total de carbono en el bosque.

## D. BOSQUE EL CEBOLLÍN

### 1. Análisis del carbono encontrado

**Tabla 13.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Cebollín, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2008.

<b>BOSQUE: Cebollín</b>							
<b>ÁREA (ha.):</b>	22.57						Año 2,008
<b>ESTRATO: 1</b>							
<b>Parcela</b>	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasca TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>	
<b>PARCELA: 1</b>	242.63	2.54	0.76	2.68	-	248.62	
<b>PARCELA: 2</b>	64.41	5.78	0.00	2.96	-	73.14	
<b>PARCELA: 3</b>	203.62	1.89	0.83	4.87	-	211.21	
<b>PARCELA: 4</b>	152.09	0.67	0.00	4.30	19.13	176.19	

Cont. Tabla 13

<b>Parcela</b>	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasca TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>
<b>PARCELA: 5</b>	127.92	0.00	0.79	4.40	-	133.12
<b>PARCELA: 9</b>	163.58	0.00	0.00	1.27	13.30	178.14
<b>PARCELA: 10</b>	195.84	0.00	0.00	4.10	-	199.93
<b>PARCELA: 11</b>	188.25	0.00	0.00	2.10	-	190.35
<b>PARCELA: 12</b>	246.85	2.04	0.00	2.87	-	251.76
<b>PARCELA: 13</b>	70.94	0.00	0.00	3.18	-	74.13

<b>PARCELA: 14</b>	194.71	0.00	0.68	3.91	-	199.30
<b>PARCELA: 15</b>	92.65	15.49	0.86	2.14	-	111.14
<b>Promedio</b>	161.96	2.37	0.33	3.23	16.21	<b>184.10</b>
<b>Desviación Estándar</b>	61.96	4.48	0.41	1.10	4.12	<b>62.27</b>
<b>Carbono total para el bosque: 4,155.05 Toneladas de Carbono (tC)</b>						

Fuente: Cruz, L. 2009

**Tabla 14.**

Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Cebollín, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango entre los años 2,004 y 2,008.

<b>BOSQUE: Cebollín</b>			
<b>ÁREA (ha.):</b>	22.57		
<b>ESTRATO: 1</b>			
<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	292.78	248.62	-44.16
<b>PARCELA: 2</b>	165.39	73.14	-92.25
<b>PARCELA: 3</b>	320.69	211.21	-109.48
<b>PARCELA: 4</b>	176.90	176.19	-0.71
<b>PARCELA: 5</b>	179.64	133.12	-46.52
<b>PARCELA: 6</b>	313.47	----	NA
<b>PARCELA: 7</b>	90.80	----	NA
<b>PARCELA: 8</b>	271.80	----	NA
<b>PARCELA: 9</b>	154.24	178.14	23.90
<b>PARCELA: 10</b>	116.50	199.93	83.43
<b>PARCELA: 11</b>	212.23	190.35	-21.88
<b>PARCELA: 12</b>	107.83	251.76	143.93

Cont. Tabla 14

<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 13</b>	----	74.13	NA
<b>PARCELA: 14</b>	----	199.30	NA
<b>PARCELA: 15</b>	----	111.14	NA
<b>Promedio</b>	243.83	184.10	-59.73
<b>Desviación Estándar</b>	79.63	62.27	-17.36

<b>Cambio de Carbono total para el bosque Cebollín (tC):</b>	
	<b>(1,348.10)</b>

\*Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

En cuanto al bosque Cebollín, el número de parcelas muestreadas en ambos años fue el mismo, sin embargo existe una diferencia en dichas parcelas muestreadas, ya que en el año 2008 fueron muestreadas las parcelas 13, 14 y 15 en lugar de las 7, 8 y 9 muestreadas en el año 2004 (ver Mapa 4 en el Anexo E).

El bosque Cebollín presentó un *decremento* en el tonelaje de carbono en el año 2008 con respecto a mostrado en el año 2004, el cual cayó de 243.83 ton C/ha (2004) a 184.1 ton C/ha, lo cual representa una disminución del 24.5% con respecto a la cantidad de carbono inicial, que corresponde a **59.73 ton C/ha** perdidas en el transcurso de los 4 años. En cuanto a la desviación estándar, esta disminuyó de 79.63 a 62.27 ton C/ha.

En cuanto a la distribución del tonelaje en los diferentes componentes del bosque, se observa que la cantidad de carbón encontrado en el estrato arbóreo se mantiene constante (con un poco más de 160 ton C/ha), por lo que el decremento de carbono en este bosque se encuentra principalmente en los componentes de hojarasca y suelo, cuya sumatoria totaliza 53.74 ton C/ha perdidas en dichos componentes, lo cuales representan el 90% de carbono total perdido en el bosque (ver tablas 20 y 25).

## 2. Análisis de distribuciones diamétricas

**Tabla 15.**

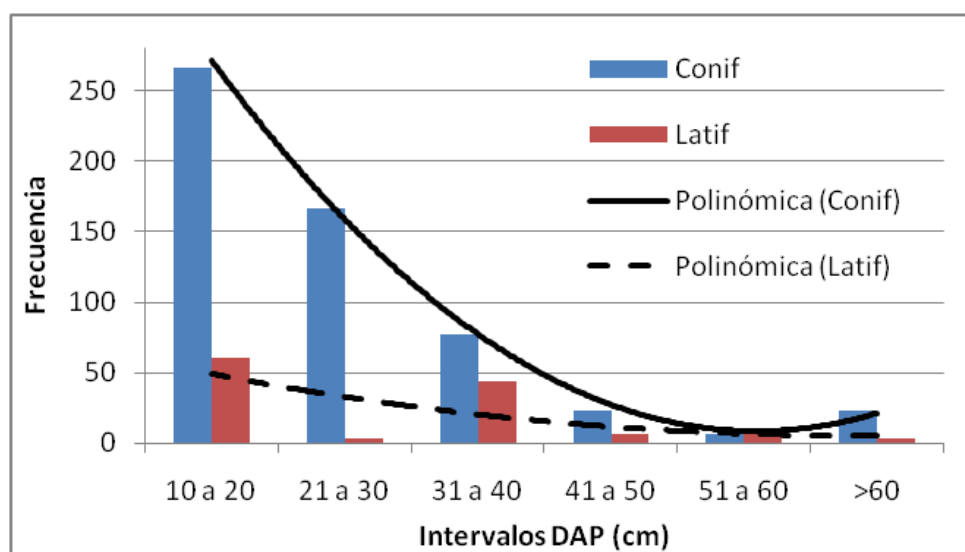
Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos en el bosque  
El Cebollín para el año 2008

<b>No. Parcelas:</b>	12	<b>Área total parcelas (ha):</b>	0.3
<b>Área bosque (ha):</b>	22.57	<b>% bosque:</b>	1.329%

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
10 a 20	80	18	267	60	38.647	8.696
21 a 30	50	1	167	3	24.155	0.483
31 a 40	23	13	77	43	11.111	6.280
41 a 50	7	2	23	7	3.382	0.966
51 a 60	2	3	7	10	0.966	1.449
>60	7	1	23	3	3.382	0.483
<b>suma</b>	<b>169</b>	<b>38</b>	<b>563</b>	<b>127</b>	<b>81.64</b>	<b>18.36</b>
	<b>207</b>		<b>690</b>		<b>100.00</b>	

**Figura 7.**

Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Cebollín para el año 2008.



En contraste con el bosque Ojo de Agua, en este bosque el estrato arbóreo no tuvo influencia alguna en la disminución de tonelaje total. Incluso para ambas mediciones presenta la misma tendencia que presenta un bosque intervenido previo a su medición, ya que la densidad poblacional se concentra en la regeneración natural y no existe una distribución relevante en diámetros mayores, lo cual nos arroja tanto el área basal como el tonelaje de carbono mucho menor del adecuado para el lugar.

El único cambio percibido en el estrato arbóreo fue la proporción de latifoliadas y coníferas en el lugar, aumentando en un 20% la proporción de gimnospermas, y por ende disminuyendo en la misma tasa la proporción de latifoliadas.

No hay mucho que analizar en este bosque, simplemente se recomienda un manejo adecuado del mismo, realizando raleos adecuados para incentivar el incremento medio anual (IMA) en el estrato arbóreo.

Como ya se mencionó anteriormente, el suelo y la hojarasca sobre él fueron los estratos que produjeron un cambio negativo en la cuantificación de carbono almacenado en este bosque.

## E. BOSQUE TXEMUJ

### 1. Análisis del carbono encontrado

**Tabla 16.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Txemuj, municipio de Huitán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2008.

BOSQUE: Txemuj							
ÁREA (ha.):	315.96						Año 2,008
ESTRATO: 1							
Parcela	Árboles TC/Ha	Arbustos TC/Ha	Maleza TC/Ha	Hojarasca TC/Ha	Suelo TC/Ha	Total TC/Ha	
PARCELA: 1	237.83	0.00	0.18	1.67	-	239.68	
PARCELA: 2	80.90	0.00	0.30	0.25	-	81.45	
PARCELA: 3	743.26	0.00	0.34	2.09	46.06	791.75	
PARCELA: 4	102.90	0.78	0.00	5.32	48.70	157.70	
PARCELA: 5	196.29	0.00	0.00	1.31	-	197.60	
PARCELA: 6	134.07	0.00	0.00	6.11	-	140.18	

Cont. Tabla 16

Parcela	Árboles TC/Ha	Arbustos TC/Ha	Maleza TC/Ha	Hojarasca TC/Ha	Suelo TC/Ha	Total TC/Ha
PARCELA: 7	506.66	2.08	2.81	4.57	-	516.12
PARCELA: 11	105.26	0.00	0.00	6.41	-	111.67
PARCELA: 12	414.21	0.00	0.43	2.40	60.64	477.67
PARCELA: 13	153.35	2.20	0.10	32.36	-	188.01
PARCELA: 14	459.19	2.01	2.43	5.65	-	469.29
PARCELA: 15	634.39	0.70	1.58	14.02	-	650.68

<b>PARECELA: 17</b>	102.45	0.00	4.15	0.00	-	106.60
<b>PARCELA: 19</b>	241.16	0.01	2.43	0.00	-	243.59
<b>PARCELA: 20</b>	73.04	0.07	0.40	2.09	-	75.61
<b>PARCELA: 21</b>	66.15	0.09	2.03	1.66	26.98	96.91
<b>PARCELA: 23</b>	188.12	0.07	0.63	0.68	-	189.50
<b>PARCELA: 24</b>	321.29	0.23	0.64	0.33	-	322.49
<b>PARECELA: 27</b>	242.32	0.62	0.00	4.75	-	247.70
<b>PARECELA: 28</b>	146.34	0.00	1.59	0.00	-	147.94
<b>Promedio</b>	257.46	0.44	1.00	4.58	45.59	<b>309.08</b>
<b>Desviación Estándar</b>	196.04	0.76	1.20	7.36	13.93	<b>196.68</b>
<b>Carbono total para el bosque: 97,657.74 Toneladas de Carbono (tC)</b>						

Fuente: Cruz, L. 2009

**Tabla 17.**

Resultados del cambio en el contenido de carbono por parcela en el bosque Txemuj, municipio de Huitán, departamento de Quetzaltenango entre los años 2,004 y 2,008.

<b>BOSQUE: Txemuj</b>			
<b>ÁREA (ha.):</b>	315.96		
<b>ESTRATO: 1</b>			
<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	81.47	239.68	158.21
<b>PARCELA: 2</b>	286.38	81.45	-204.93
<b>PARCELA: 3</b>	638.79	791.75	152.96
<b>PARCELA: 4</b>	447.20	157.70	-289.50
<b>PARCELA: 5</b>	254.36	197.60	-56.76
<b>PARCELA: 6</b>	513.65	140.18	-373.47

Cont. Tabla 17

<b>Parcela</b>	<b>2004*</b>	<b>2008</b>	<b>Diferencia en tC/Ha</b>
<b>PARCELA: 7</b>	754.85	516.12	-238.73
<b>PARCELA: 8</b>	227.69	----	NA
<b>PARCELA: 9</b>	396.74	----	NA
<b>PARCELA: 11</b>	634.78	111.67	-523.11
<b>PARCELA: 12</b>	280.33	477.67	197.34
<b>PARCELA: 13</b>	89.46	188.01	98.55

<b>PARCELA: 14</b>	767.06	469.29	-297.77
<b>PARCELA: 15</b>	692.18	650.68	-41.50
<b>PARCELA: 17</b>	20.59	106.60	86.01
<b>PARCELA: 19</b>	169.72	243.59	73.87
<b>PARCELA: 20</b>	229.89	75.61	-154.28
<b>PARCELA: 21</b>	226.82	96.91	-129.91
<b>PARCELA: 23</b>	413.56	189.50	-224.06
<b>PARCELA: 24</b>	280.53	322.49	41.96
<b>PARCELA: 27</b>	----	247.70	NA
<b>PARCELA: 28</b>	----	147.94	NA
<b>Promedio</b>	370.30	309.08	-61.22
<b>Desviación Estándar</b>	230.37	196.68	-33.69
<b>Cambio de Carbono total para el bosque (tC):</b>			<b>(19,343.07)</b>

\*Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

En el bosque Txemuj se muestrearon en el año 2008 el mismo número de parcelas muestreadas en el año 2004 con la única diferencia de que en el último muestreo se tomaron las parcelas 27 y 28 en lugar de las parcelas número 8 y 9, tomadas en el año 2004 (ver Mapa 3 del Anexo E).

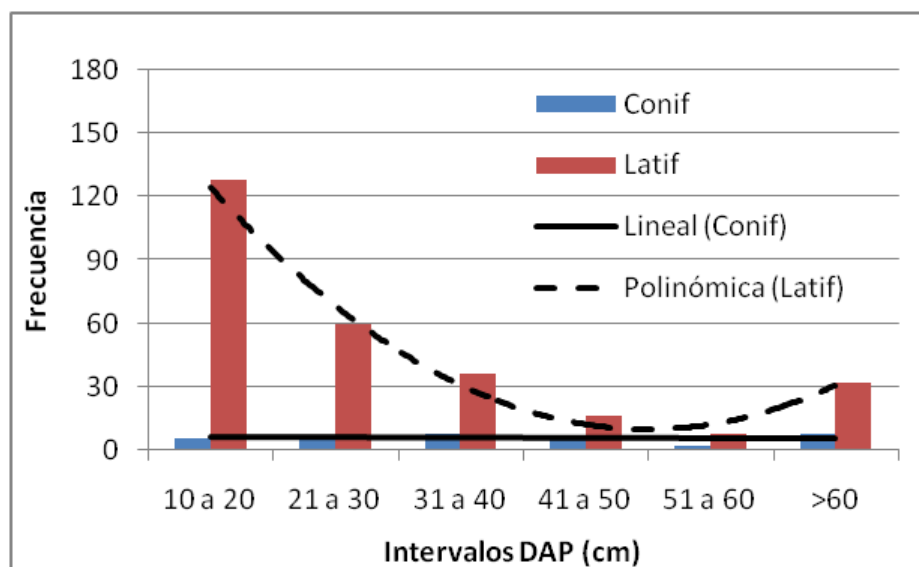
El bosque Txemuj presentó un *decremento* en el tonelaje de carbono almacenado por hectárea y por ende las ton C totales en todo el bosque. La cantidad de carbono encontrado por ha (en promedio) disminuyó de 370.3 ton C/ha en el 2004 a 309.08 ton C/ha, lo que representa una pérdida de **61.22 ton C/ha**. En los 5 bosques analizados en este estudio, es el bosque de Txemuj el que representa la mayor pérdida de carbono/ha (en toneladas); sin embargo, a pesar de este dato tan alto, es el bosque que experimentó la menor tasa de disminución ya que este tonelaje representa el *16.53%* del total obtenido en el año 2004.

En este bosque (al igual que en el bosque Guadalupe) existió una disminución en la desviación estándar. Dicha disminución fue de 33.7 ton C/ha.



**Figura 8.**

Tendencias en la distribución diamétrica para latifoliadas y coníferas en el bosque Txemuj para el año 2008.



En el bosque Txemuj fue el componente arbóreo el que determinó el cambio (negativo) en el tonelaje total de carbono en el bosque, por lo que nuevamente el estudio de distribuciones de frecuencias en intervalos diamétricos es vital para observar lo sucedido en el transcurso de los cuatro años.

Algo que sí es definitivo en este bosque es que su composición es coetáneo (i.e. posee solamente un estrato en cuanto a tipo de bosque), ya que es predominantemente latifoliado (90%), composición representada tanto en el año 2004 como en el 2008.

En cuanto a la tendencia de la distribución de frecuencias en los intervalos (en cuanto a proporción) se mantuvo muy similar en los cuatro años; lo que cambió fue la densidad poblacional total en las especies latifoliadas, ya que la densidad de coníferas se mantuvo en 35 árboles/ha, representando alrededor de 10% de la población total. La densidad de latifoliadas disminuyó en un 23% (de 362 a 280 árboles/ha) en los cuatro años. Por lo que se concluye que la principal causa del 17% de disminución de tonelaje de carbono total en el bosque fue el decremento en la densidad poblacional de árboles latifoliados (ver Tabla 13 y Tabla 31).

**Tabla 19 y 20.**

Resumen del tonelaje de carbono por hectárea y total en cada uno de los bosques en los años 2,004 y 2,008.

<b>2004</b>						
No.	Bosque	Número parcelas	Área (ha.)	Densidad de carbono ton C/ha	Contenido Carbono ton C	Desviación estándar ton C
1	Las Ventanas	22	203.15	178.22	36205	31980
2	Guadalupe	12	31.13	188.43	5866	4136
3	Ojo de Agua	13	56.49	163.31	9225	10950
4	Cebollín	12	22.57	243.83	5503	1797
5	Txemuj	20	315.96	370.3	117000	72787
<b>TOTAL</b>		<b>79</b>	<b>629.3</b>		<b>173799</b>	<b>121650</b>

<b>2008</b>						
No.	Bosque	Número parcelas	Área (ha.)	Densidad de carbono ton C/ha	Contenido Carbono ton C	Desviación estándar ton C
1	Las Ventanas	23	203.15	139.77	28394	28996
2	Guadalupe	13	31.13	147.97	4606	1174
3	Ojo de Agua	14	56.49	247.55	13984	5014
4	Cebollín	12	22.57	184.1	4155	1405
5	Txemuj	20	315.96	309.08	97657	62143
<b>TOTAL</b>		<b>82</b>	<b>629.3</b>		<b>148796</b>	<b>98732</b>

**Tabla 21**

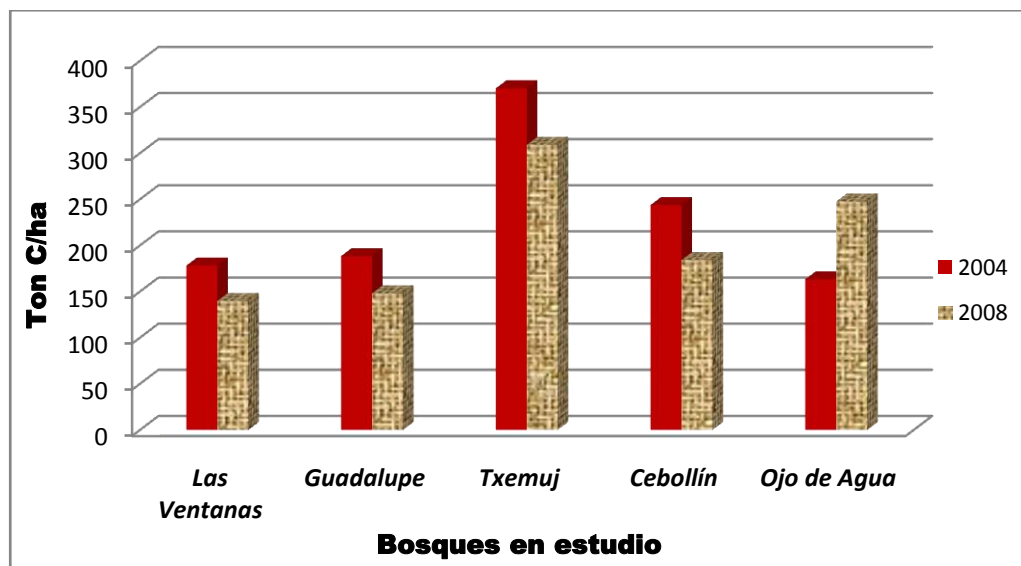
Cuantificación del cambio de carbono existente en tC/hectárea y en % entre los años de 2004 y 2008

Municipio	Bosque	Ton C/ha 2004	Ton C/ha 2008	Difer. (tC/ha)	Difer. (%)
<b>San José Ojetenam</b>	<b>Las Ventanas</b>	178.22	139.77	<b>-38.45</b>	<b>-21.57</b>
	<b>Guadalupe</b>	188.43	147.97	<b>-40.46</b>	<b>-21.47</b>
<b>Cabricán</b>	<b>Ojo de Agua</b>	163.31	247.55	<b>84.24</b>	<b>51.58</b>
	<b>Cebollín</b>	243.83	184.10	<b>-59.73</b>	<b>-24.50</b>

Huitán	Txemuju	370.30	309.08	-61.22	-16.53
--------	---------	--------	--------	--------	--------

**Figura 9.**

Representación gráfica del cambio en el carbono existente en los cinco bosques en el período de 2,004-2,008.



Con todo el análisis realizado anteriormente para cada bosque, obtenemos el resumen de los datos obtenidos en todo el estudio, los cuales se presentan en las tablas 14, 15 y 16, y en la Figura 9.

En general se aprecia el cambio negativo de carbono almacenado por los 5 bosques, de los cuales solamente Ojo de Agua presentó un aumento en su carbono almacenado. En el 2004 se muestreó un total de 80 parcelas de 250 m<sup>2</sup> en los cinco bosques que totalizan 629.3 Has, y el cálculo total de carbono ascendió a **173,799 tC** con una desviación estándar de **121,650 tC** lo cual es alto. Mientras que en el año 2008 se muestreó un total de 82 parcelas en las misma cantidad de hectáreas de bosque, arrojando un cálculo total de **148,796 tC** con una desviación estándar de **98,732 tC**.

Con los datos anteriores podemos concluir que el *decremento* en el tonelaje de carbono almacenado durante los 4 años para los cinco bosques muestreados fue de **25,000 tC** lo que representa una tasa de reducción del **14.4%**. Sin embargo también la desviación

estándar del muestreo disminuyó casi **23,000 tC** que se traduce en una tasa de reducción del **18.8%**.

Analizando de otra manera el cambio de stock de carbono existido en los cinco bosques, podemos decir que la pérdida de tC total representa un poco más del volumen actual de los bosques de Guadalupe, Ojo de Agua y El Cebollín (los cuales totalizaron unos 20,500 tC en el 2004). Es decir, de esta forma se observa la magnitud del cambio negativo en cuanto a la capacidad de secuestro de carbono que poseen estos bosques actualmente, y se aprecia la necesidad latente de que las comunidades y/o municipalidades correspondientes tomen acciones correctivas en el manejo y conservación de estos bosques.

Con toda la información que pueda recolectarse de la situación económica y presión social que tengan las comunidades aledañas a estos bosques es difícil conocer con certeza si es un factor que influya significativamente en la pérdida de carbono almacenado. Por otro lado es muy posible que el motivo del cambio sea directamente influenciado por los sistemas de monitoreo, en los cuales no existe una definición exacta de “parcelas permanentes” en donde las comunidades o municipalidades velen por mantener intactas por motivo de estudio. Además el no muestrear exactamente las parcelas muestreadas en el 2004 pudo variar considerablemente la “fotografía del bosque” realizada en ambos momentos (para bien o para mal). A esta variación también se le suma el hecho de obtener altos valores de desviación en la distintas mediciones; pero esto se puede corregir mediante una estratificación del bosque adecuada, utilizando valores de aéreas basales e incluso valores de tC encontrados por parcela para obtener datos mas homogéneos que reduzcan significativamente la variación.



## VII. CONCLUSIONES

Cuatro de los cinco bosques evaluados presentaron una disminución en las toneladas de carbono almacenado por hectárea: Las Ventanas, con -38.45 tC/Ha (que representa una disminución del -21.57%); Guadalupe, con -40.46 tC/Ha (-21.47%); Cebollín, con -59.73 tC/Ha (-24.5%) y Txemuj, con -61.22 tC/Ha (-16.53%). El único bosque que experimentó un aumento en el tonelaje por hectárea fue Ojo de Agua, con 84.24 tC/Ha (+51.58%). La tasa de cambio total de tonelaje de C en los cinco bosques evaluados fue del 14.39%, muy probablemente debido a la presión generalizada que experimentan los recursos forestales en el altiplano occidental del país.

En el bosque Las Ventanas, los componentes que tuvieron la disminución de carbono fueron el suelo y la hojarasca, incluso el estrato arbóreo tuvo un aumento en el tonelaje. La desviación estándar en las mediciones del 2008 fue menor que las del 2004. La densidad de árboles aumento de 120 a 139 arb/ha, obteniendo un aumento significativo en la proporción de coníferas, principalmente en diámetros entre 10 a 40 cm. El estrato arbóreo se mantuvo intacto, pero el suelo pudo haberse lavado debido a efectos climáticos como la tormenta Stan o la hojarasca pudo haberse quemando por motivo de incendios forestales rastreros.

En el bosque Guadalupe, el componente del bosque causante de la disminución de carbono almacenado fue el estrato arbóreo; el componente hojarasca también disminuyó. El cambio más significativo en esta medición fue la desviación estándar, la que bajó de 133 a 38 tC/Ha, lo que indica que en el 2008 las áreas muestreadas presentaron una composición mucho más homogénea. La densidad de árboles/ha aumentó de 174 a 220, manteniéndose una proporción equilibrada en la composición de coníferas y latifoliadas del bosque. Se observó una clara intervención en el estrato boscoso ya que hubo una disminución significativa en los árboles dentro del intervalo de 41 a 50 cm de DAP.

En el caso del bosque Cebollín, el 90% de la pérdida de carbono registrada se dio en los componentes de hojarasca y suelo, caso similar a lo sucedido con el bosque Las Ventanas; el estrato arbóreo se mantuvo constante en su tonelaje. La desviación estándar también se redujo, aunque dicha reducción no fue muy notoria. La densidad de árboles aumentó considerablemente de 490 (2004) a 690 árboles/ha en el 2008. Este aumento se dio

principalmente en forma de regeneración natural donde principalmente las especies coníferas tuvieron un aumento en un 20% en el intervalo de 10 a 30 cm de DAP. En este caso es adecuado darle un manejo al bosque mediante raleos y evitar al máximo la incidencia de incendios que puedan provocar una pérdida considerable de carbono en el suelo y en la hojarasca sobre él.

El bosque Txemuj fue el que perdió más C/Ha de los cinco bosques, sin embargo fue el que menor porcentaje de disminución obtuvo (esto debido a su gran extensión comparado con los otros bosques). Dicha tasa de decremento fue de 16.53%, del cual, 15.2% se produjo en el componente arbóreo. En el 2004 no hubo datos para los componentes maleza, hojarasca ni suelo, los que en el 2008 sumaron unas 50 tC/Ha; aún así el cambio en el total de carbono fue notablemente negativo. La desviación estándar en la medición del 2008 disminuyó considerablemente con respecto a la realizada en el 2004. La densidad cayó de 362 a 280 arb/ha pero manteniéndose intacta la composición predominante de latifoliadas (90%) al igual que su distribución en todas las clases diamétricas, por lo que se concluye que la principal causa del 17% de disminución de tonelaje de carbono total en el bosque fue el decremento en la densidad poblacional de árboles latifoliados.

El bosque Ojo de Agua fue el ÚNICO en experimentar un “aumento” en el carbono almacenado, del cual el 50% se reflejó en el estrato arbóreo y el 50% de dicho aumento se dio en los componentes maleza, hojarasca y suelo, debido a que la medición del 2004 carece de valores en estos componentes. La desviación estándar de la medición disminuyó en poco más del 50% con respecto al año 2004, por lo que se concluye que este bosque aumentó su almacenaje de carbono en forma significativa y confiable. La densidad poblacional disminuyó significativamente, bajando de 520 (en el 2004) a 320 arb/ha, principalmente en los diámetros menores. La composición mixta del bosque se mantuvo, presentando una proporción ligeramente mayor en las coníferas. Se concluye que el cambio positivo que experimentó el bosque Ojo de Agua se debe a que se duplicó la frecuencia de árboles en el estrato maduro del bosque (>40 cm de DAP).

Como cuantificación total se tuvo una lamentable pérdida de carbono en los cinco bosques evaluados en este estudio, que conforman una extensión total de 629.23 hectáreas. Dicha pérdida fue de 25,003 tC, que representa una tasa de reducción del 14.4%. Sin embargo, la desviación total del estudio disminuyó en un 18.8% (unas 23,000 tC). Para representar más clara dicha pérdida en el tonelaje de C, se puede afirmar que es equivalente a que si hubiesen desaparecido los bosques Guadalupe, Ojo de Agua y Cebollín (que sumaron 20,500 tC en el 2004), quedando aún 4,500 tC por restar a los 2 bosques restantes.

Estadísticamente los cambios presentados en el carbono almacenado de carbono NO son significativos en “ninguno” de los bosques evaluados, ya que los valores obtenidos mediante las pruebas de t de student no sobrepasan el valor establecido en la tabla de distribuciones t, bajo un nivel de confianza del 95%.

Lo más difícil de la metodología para cuantificar carbono en bosques de revisita fue llegar al punto exacto en cada parcela muestreada en el 2004. Los aparatos de Geoposicionamiento Global tienen un margen de error relativamente pequeño, pero puede ser suficiente para que se levante la medición de una parcela en un área con una composición completamente diferente a la encontrada para la misma parcela en la medición inicial.

Es de vital importancia establecer adecuadamente Parcelas Permanentes de Muestreo, debidamente señalizadas y protegidas por la comunidad y oficina forestal correspondiente. Sin embargo, según los resultados de este estudio es evidente la disminución de biomasa forestal en los municipios de San José Ojetenam, Huitán y Cabricán, en el altiplano occidental del país, independientemente de cuál sea su causa antropológica o natural.



## VIII. RECOMENDACIONES

Es necesario, debido a los resultados obtenidos en el transcurso de los cuatro años, implementar un sistema de monitoreo periódico, utilizar parcelas permanentes de muestreo con técnicas que aseguren la localización y el acceso a cada una de las parcelas en las distintas mediciones realizadas a través del tiempo.

El establecer el mencionado sistema mostrará el comportamiento del área boscosa en diferentes períodos de tiempo, ayudando a la toma de decisiones relacionadas con la administración y conservación del recurso forestal, ya que además de la fijación de carbono realizada por estos cinco bosques (aunque halla disminuido su capacidad en general), también contribuyen a la regulación del recurso hídrico y a la conservación de la biodiversidad.

Lo más importante a tomar en cuenta en este estudio es la metodología estadística para el monitoreo de carbono fijado en las diferentes parcelas del bosque. Además en la distribución de las parcelas dentro del área de cada bosque. Como el estudio pretendía cuantificar el cambio existido en cuatro años, era necesario realizar o mas bien, tratar de realizar el muestro en los lugares exactos en los que se realizó en el 2004. Sin embargo, para estudios posteriores en cualquier otro lugar del país o en los mismos bosques se recomienda realizar una estratificación adecuada y distribuir las parcelas de acuerdo a esta estratificación, utilizando modelos estadísticos para los cálculos de carbono. Lo anterior ayudará significativa a reducir el “ruido” estadístico y la desviación estándar de todas las mediciones realizadas.

Como el objetivo del presente estudio no fue proponer una metodología adecuada para el monitoreo de carbono en bosques del altiplano occidental de Guatemala, no es adecuado profundizar en el tema de la estratificación. Sin embargo, por la necesidad de mejorar los estudios de cuantificación se elaboraron mapas que muestran las parcelas del 2008 sobrepuestas en orto fotos del año 2006 con los valores de Área basal y tC/hectárea para cada parcela en cada bosque; dichos mapas pueden ser una herramienta interesante para proponer una estratificación de los bosques cuantificados en este estudio.



## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arreaga, WE. 2002. *Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Peten. Guatemala*. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 73p.
- Brown, S. Gillipsie, AJR; Lugo, A.E. 1989. *Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data*. Forest Science 35: 881-902.
- Brown, S. 1996. *A primer for estimating biomass and biomass change in tropical forests*.FAO. USA.
- Brown, S. *et al.* 1996. Capítulo III.F. Establishment and management of forest for mitigation of greenhouse gas emissions. En: Grupo de Trabajo II. *Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995 Assessment for the Framework Convention on Climate Change*.
- Castellanos, E.; Flores, C. 2006. *Estimación del contenido de carbono en bosques del altiplano occidental*.Fase III. UVG-CARE. 69p.
- Castellanos, E. *et al.* 2008. *Estimación del contenido de carbono en bosques del altiplano occidental de Guatemala*. UVG-CARE. 56p.
- Córdova, Lorena. 2002. *Estimación de biomasa y carbón para PinusoocarpaSciold, P. maximinoi H.E. Moore y P. caribeaMorelet Var. hondurensis en algunos bosques naturales de Guatemala*. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Devore, Jay L. 2008. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 7ªedición.CENGAGE Learning.Mexico, D.F. 720 p.
- Dyson, F.J. 1977. Can we control the carbon dioxide in the atmosphere? *Energy 2*: 287-291.

- EIA. 2008. *Greenhouse gases, climate change & energy*. Energy information administration. Brochure # DOE/EIA-X012. Washington, D.C. 2pp.  
<http://www.eia.doe.gov/bookshelf/brochures/greenhouse/Chapter1.htm>
- Figueres, C.; Hambleton, A.; Lay, L.; MacDicken; Petricone, S.; Swisher, J. 1996. *Ejecutando la implementación conjunta: una guía para establecer programas nacionales de implementación conjunta*. Centro para el Desarrollo Sostenible de las Américas-USAID-Lawrence Berkeley National Laboratory. 70pp.
- Lee, Glenda. 2002. *Estudio preliminar para la estimación de biomasa cuantificación de carbono para Vochysiaguatemalensis, Calophyllum brasiliense y Cybistaxdonnell-smithii en bosques naturales de Guatemala*. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala.
- MacDicken, K.G. 1997. *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development. 87p.
- Marquez, L. (ed). 2000. *Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo*. Fundación Solar, Guatemala, 36p.
- Moura, P.; Stuart, M. Sin fecha. *Forestry-based Greenhouse mitigation: o short story of market evolution*. EcoSecurities Ltd. Oxford, U.K. 15p.
- Rodríguez L. R. et al. 2006. *Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México*. Rev. CIENCIA UANL/VOL. IX, No. 2, Abril-Junio 2006. Facultad de ciencias forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. 179:187 pp.
- Stuart, M.D.; Moura C, P. 1998. *Climate change mitigation by forestry: a review of international initiatives*. International Institute for Environment and Development. London, UK. 68p.

**X. ANEXOS****ANEXO A**

**Carbono total (en Ton/ha) encontrado  
en las parcelas de los cinco bosques  
muestreados, en el año 2,004**

**Tabla 22.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Las Ventanas, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos, en el año 2004.

<b>BOSQUE: Las Ventanas</b>						
<b>ÁREA (ha.):</b>	203.15	Año 2004				
<b>ESTRATO: 1</b>						
	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasc a TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	0.84	1.48	0.76	15.95	40.37	59.40
<b>PARCELA: 2</b>	7.90	3.18	3.43	10.43	23.68	48.62
<b>PARCELA: 4</b>	0.00	0.93	0.28	----	28.44	29.65
<b>PARCELA: 5</b>	0.00	0.43	0.63	3.67	41.70	46.43
<b>PARCELA: 6</b>	2.41	0.69	1.13	6.97	72.57	83.77
<b>PARCELA: 7</b>	0.00	1.00	0.40	----	15.46	16.86
<b>PARCELA: 8</b>	0.00	1.42	1.08	----	31.73	34.23
<b>PARCELA: 9</b>	63.44	5.83	0.27	103.45	65.37	238.36
<b>PARCELA: 10</b>	0.00	1.73	0.46	51.56	11.71	65.46
<b>PARCELA: 11</b>	71.43	3.93	1.06	1.88	36.22	114.52
<b>PARCELA: 12</b>	0.00	8.59	2.63	11.70	91.50	114.42
<b>PARCELA: 13</b>	278.65	24.82	0.16	----	82.21	385.84
<b>PARCELA: 14</b>	0.00	0.00	0.49	4.03	66.08	70.60
<b>PARCELA: 15</b>	391.06	15.62	1.18	21.17	52.64	481.67
<b>PARCELA: 16</b>	0.00	7.88	1.33	13.46	154.39	177.06
<b>PARCELA: 17</b>	67.23	23.62	0.24	3.17	36.73	130.99
<b>PARCELA: 18</b>	151.10	2.39	1.35	37.67	35.22	227.73
<b>PARCELA: 19</b>	0.00	6.02	0.66	1.03	67.81	75.52
<b>PARCELA: 20</b>	0.00	25.62	0.46	6.14	71.01	103.23
<b>PARCELA: 21</b>	191.55	40.35	0.40	31.28	21.12	284.70
<b>PARCELA: 22</b>	542.14	46.28	2.24	90.11	58.85	739.62
<b>PARCELA: 23</b>	251.22	9.86	1.46	18.26	15.26	296.06
<b>Promedio</b>	91.77	10.53	1.00	24.00	50.91	<b>178.21</b>
<b>Desviación Estándar</b>	150.48	13.36	0.84	29.81	32.68	<b>157.42</b>
<b>Carbono total para el bosque: 36,204.33 Toneladas de Carbono (tC)</b>						

Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

**Tabla 23.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Guadalupe, municipio de San José ojetenam, departamento de San Marcos, en el año 2004.

<b>BOSQUE: Guadalupe</b>							
<b>ÁREA (ha.):</b>	31.13						Año 2004
<b>ESTRATO: 1</b>							
	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasc a TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>	
<b>PARCELA: 1</b>	214.34	2.04	----	----	30.80	247.18	
<b>PARCELA: 2</b>	133.64	0.02	----	----	20.10	153.76	
<b>PARCELA: 3</b>	52.87	2.80	0.05	12.16	28.30	96.18	
<b>PARCELA: 4</b>	228.05	2.09		2.29	19.40	251.83	
<b>PARCELA: 5</b>	18.49	0.99	0.26	5.40	21.20	46.34	
<b>PARCELA: 6</b>	71.94	0.86	0.37	9.13	20.00	102.30	
<b>PARCELA: 7</b>	477.26	2.77	1.05	41.52	34.90	557.50	
<b>PARCELA: 9</b>	292.76	0.05	0.00	0.02	31.90	324.73	
<b>PARCELA: 10</b>	75.11	0.00	0.14	5.10	23.00	103.35	
<b>PARCELA: 11</b>	84.00	1.03	0.14	5.10	26.30	116.57	
<b>PARCELA: 12</b>	44.26	2.23	0.00	0.02	36.60	83.11	
<b>PARCELA: 13</b>	139.52	2.18	0.06	4.67	14.10	160.53	
<b>Promedio</b>	152.69	1.42	0.23	8.54	25.55	<b>188.43</b>	
<b>Desviación Estándar</b>	132.11	1.06	0.33	12.17	7.01	<b>132.85</b>	
<b>Carbono total para el bosque:</b>	<b>5,865.81</b>	<b>Toneladas de Carbono (tC)</b>					

Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

**Tabla 24.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Txemuj, municipio de Huitán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2004.

<b>BOSQUE: Txemuj</b>							
<b>ÁREA (ha.):</b>	315.96						Año 2004
<b>ESTRATO: 1</b>							
	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasca TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>	
<b>PARCELA: 1</b>	77.42	4.05		-	-	81.47	
<b>PARCELA: 2</b>	283.05	3.33				286.38	
<b>PARCELA: 3</b>	637.94	0.85				638.79	
<b>PARCELA: 4</b>	444.40	2.80				447.20	
<b>PARCELA: 5</b>	254.09	0.27				254.36	
<b>PARCELA: 6</b>	503.58	10.07				513.65	
<b>PARCELA: 7</b>	752.34	2.51				754.85	
<b>PARCELA: 8</b>	227.55	0.14				227.69	
<b>PARCELA: 9</b>	396.63	0.11				396.74	
<b>PARCELA: 11</b>	631.52	3.26				634.78	
<b>PARCELA: 12</b>	263.33	17.00				280.33	
<b>PARCELA: 13</b>	79.60	9.86				89.46	
<b>PARCELA: 14</b>	753.41	13.65				767.06	
<b>PARCELA: 15</b>	691.31	0.87				692.18	
<b>PARCELA: 17</b>	20.52	0.07				20.59	
<b>PARCELA: 19</b>	154.30	15.42				169.72	
<b>PARCELA: 20</b>	219.91	9.98				229.89	
<b>PARCELA: 21</b>	219.22	7.60				226.82	
<b>PARCELA: 23</b>	411.94	1.62				413.56	
<b>PARCELA: 23</b>	273.55	6.98				280.53	
<b>Promedio</b>	364.78	5.52	-	-	-	<b>370.30</b>	
<b>Desviación Estándar</b>	230.30	5.45				<b>230.37</b>	
<b>Carbono total para el bosque: 117,000.78 Toneladas de Carbono (tC)</b>							

Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

**Tabla 25.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Cebollín, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2004.

<b>BOSQUE: Cebollín</b>						
<b>ÁREA (ha.):</b>	22.57	Año 2004				
<b>ESTRATO: 1</b>						
	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasc a TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	258.95	18.51	2.41	12.91	-	292.78
<b>PARCELA: 2</b>	127.78	8.33	0.30	28.98	-	165.39
<b>PARCELA: 3</b>	282.72	3.87	-	34.10	-	320.69
<b>PARCELA: 4</b>	161.25	0.00	-	15.65	-	176.90
<b>PARCELA: 5</b>	146.99	15.49	0.24	16.92	-	179.64
<b>PARCELA: 6</b>	259.91	3.37	0.22	4.64	45.33	313.47
<b>PARCELA: 7</b>	22.24	12.44	0.26	55.86	-	90.80
<b>PARCELA: 8</b>	170.20	12.56	0.01	29.93	59.10	271.80
<b>PARCELA: 9</b>	131.17	12.37	0.04	10.66	-	154.24
<b>PARCELA: 10</b>	95.19	3.44	0.24	17.63	-	116.50
<b>PARCELA: 11</b>	199.50	1.90	0.77	10.06	-	212.23
<b>PARCELA: 12</b>	93.58	0.00	-	14.25	-	107.83
<b>Promedio</b>	162.46	7.69	0.50	20.97	52.22	<b>243.83</b>
<b>Desviación Estándar</b>	77.49	6.39	0.75	14.12	9.74	<b>79.63</b>
<b>Carbono total para el bosque:</b>		<b>5,503.16</b>	<b>Toneladas de Carbono (tC)</b>			

Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

**Tabla 26.**

Resultados de contenido de carbono por parcela en el bosque Ojo de agua, municipio de Cabricán, departamento de Quetzaltenango, en el año 2004.

<b>BOSQUE: Ojo de Agua</b>						
<b>ÁREA (ha.):</b>	56.49	Año 2004				
<b>ESTRATO: 1</b>						
	<b>Árboles TC/Ha</b>	<b>Arbustos TC/Ha</b>	<b>Maleza TC/Ha</b>	<b>Hojarasc a TC/Ha</b>	<b>Suelo TC/Ha</b>	<b>Total TC/Ha</b>
<b>PARCELA: 1</b>	126.00	0.70	-	-	-	126.70
<b>PARCELA: 4</b>	136.10	17.30	-	-	-	153.40
<b>PARCELA: 5</b>	139.30	18.00	-	-	-	157.30
<b>PARCELA: 6</b>	58.40	8.20	-	-	-	66.60
<b>PARCELA: 7</b>	85.60	15.60	-	-	-	101.20
<b>PARCELA: 10</b>	125.60	4.80	-	-	-	130.40
<b>PARCELA: 11</b>	17.60	12.50	-	-	-	30.10
<b>PARCELA: 12</b>	745.00	1.60	-	-	-	746.60
<b>PARCELA: 13</b>	67.70	0.10	-	-	-	67.80
<b>PARCELA: 17</b>	14.50	3.50	-	-	-	18.00
<b>PARCELA: 23</b>	19.80	0.70	-	-	-	20.50
<b>PARCELA: 24</b>	209.50	3.80	-	-	-	213.30
<b>PARCELA: 26</b>	290.40	0.70	-	-	-	291.10
<b>Promedio</b>	156.58	6.73	-	-	-	<b>163.31</b>
<b>Desviación Estándar</b>	193.72	6.80	-	-	-	<b>193.84</b>
<b>Carbono total para el bosque: 9,225.25 Toneladas de Carbono (tC)</b>						

Fuente: Castellanos, E.; Flores, C. 2006

# ANEXO B

Distribución diamétrica en el estrato arbóreo realizada para la toma de datos de los cinco bosques en el año 2,004.

## BOSQUE LAS VENTANAS

No. Parcelas	22
Área total parcelas (ha)	0.55
Área bosque (ha)	203.5
% bosque	0.270%

**Tabla 27.**

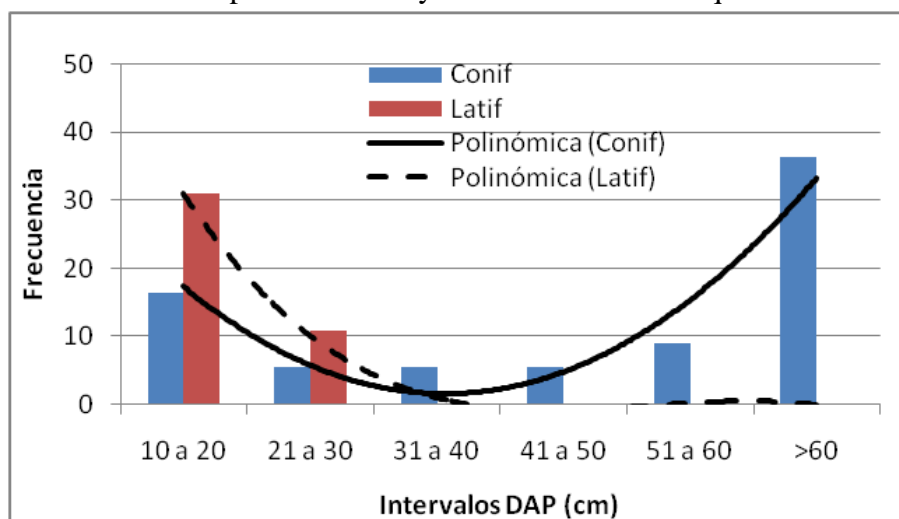
Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Las Ventanas, año 2004

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
10 a 20	9	17	16	31	13.636	25.758
21 a 30	3	6	5	11	4.545	9.091
31 a 40	3	0	5	0	4.545	0.000
41 a 50	3	0	5	0	4.545	0.000
51 a 60	5	0	9	0	7.576	0.000
>60	20	0	36	0	30.303	0.000
<b>suma</b>	<b>43</b>	<b>23</b>	<b>78</b>	<b>42</b>	<b>65.15</b>	<b>34.85</b>
	<b>66</b>		<b>120</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Cruz, L. 2009

**Figura 10.**

Representación gráfica de las frecuencias por intervalos diamétricos con sus respectivas líneas de tendencia para coníferas y latifoliadas en el bosque Las Ventanas.



(Cruz, L. 2009)

## BOSQUE GUADALUPE

No. Parcelas	20
Área total parcelas (ha)	0.5
Área bosque (ha)	315.96
% bosque	0.158%

**Tabla 28.**

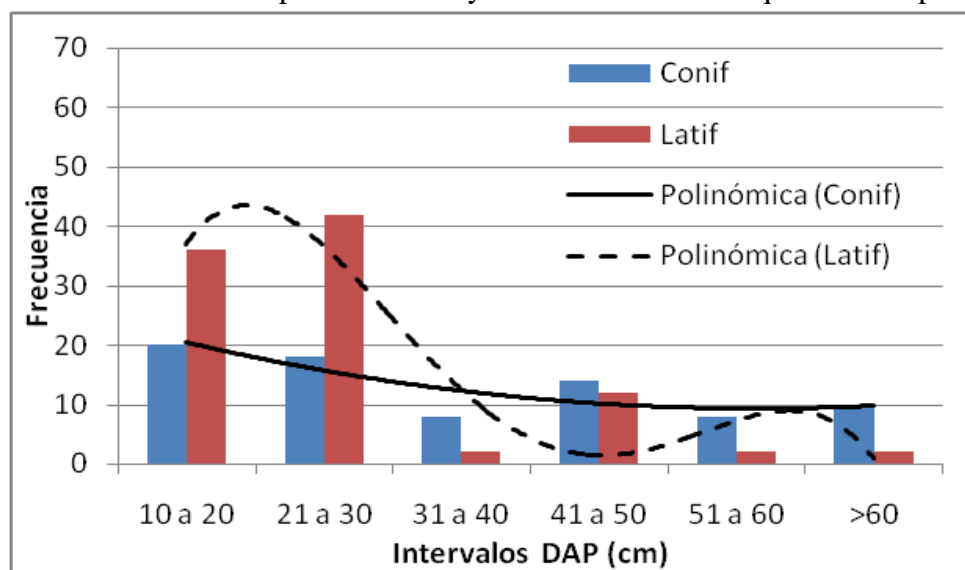
Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Guadalupe, año 2004.

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
<b>10 a 20</b>	10	18	20	36	11.494	20.690
<b>21 a 30</b>	9	21	18	42	10.345	24.138
<b>31 a 40</b>	4	1	8	2	4.598	1.149
<b>41 a 50</b>	7	6	14	12	8.046	6.897
<b>51 a 60</b>	4	1	8	2	4.598	1.149
<b>&gt;60</b>	5	1	10	2	5.747	1.149
<b>suma</b>	<b>39</b>	<b>48</b>	<b>78</b>	<b>96</b>	<b>44.83</b>	<b>55.17</b>
	<b>87</b>		<b>174</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Cruz, L. 2009

**Figura 11.**

Representación gráfica de las frecuencias por intervalos diamétricos con sus respectivas líneas de tendencia para coníferas y latifoliadas en el bosque Guadalupe.



(Cruz, L. 2009)

## BOSQUE OJO DE AGUA

No. Parcelas	13
Área total parcelas (ha)	0.325
Área bosque (ha)	56.49
% bosque	0.575%

**Tabla 29.**

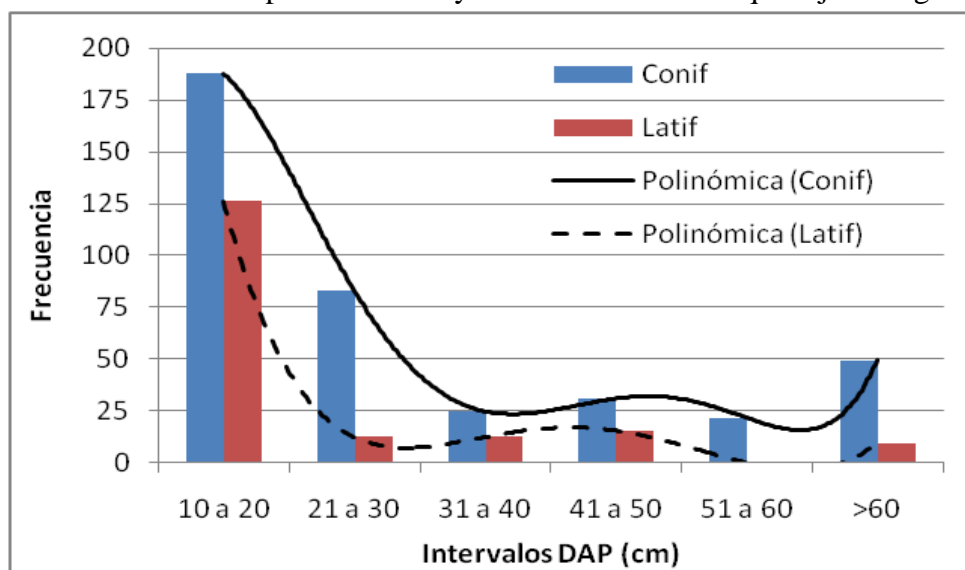
Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Ojo de Agua, año 2004.

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
<b>10 a 20</b>	61	41	188	126	32.796	22.043
<b>21 a 30</b>	27	4	83	12	14.516	2.151
<b>31 a 40</b>	8	4	25	12	4.301	2.151
<b>41 a 50</b>	10	5	31	15	5.376	2.688
<b>51 a 60</b>	7	0	22	0	3.763	0.000
<b>&gt;60</b>	16	3	49	9	8.602	1.613
<b>suma</b>	<b>129</b>	<b>57</b>	<b>397</b>	<b>175</b>	<b>69.35</b>	<b>30.65</b>
	<b>186</b>		<b>572</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Cruz, L. 2009

**Figura 12.**

Representación gráfica de las frecuencias por intervalos diamétricos con sus respectivas líneas de tendencia para coníferas y latifoliadas en el bosque Ojo de Agua.



(Cruz, L. 2009)

## BOSQUE EL CEBOLLÍN

No. Parcelas	12
Área total parcelas (ha)	0.3
Área bosque (ha)	22.57
% bosque	1.329%

**Tabla 30.**

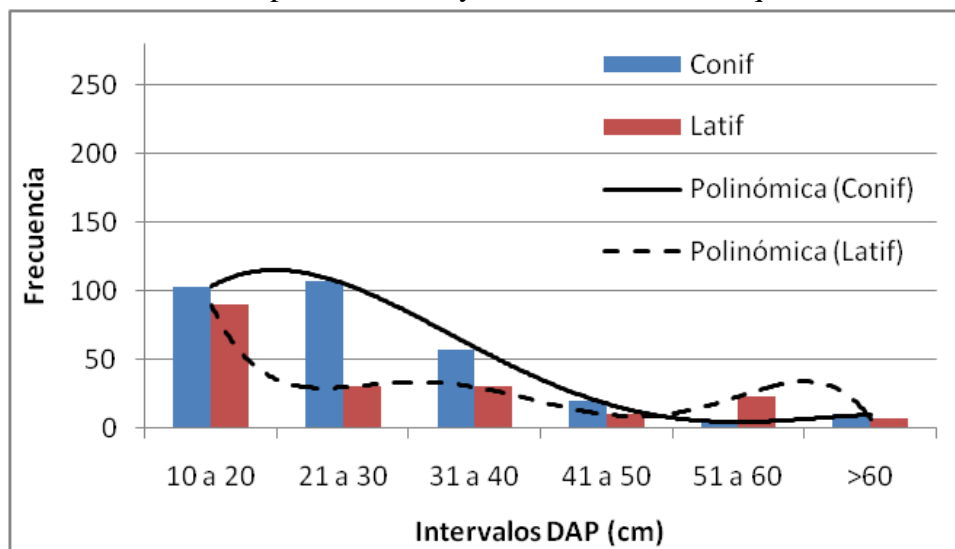
Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque El Cebollín, año 2004.

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
10 a 20	31	27	103	90	21.088	18.367
21 a 30	32	9	107	30	21.769	6.122
31 a 40	17	9	57	30	11.565	6.122
41 a 50	6	3	20	10	4.082	2.041
51 a 60	1	7	3	23	0.680	4.762
>60	3	2	10	7	2.041	1.361
<b>suma</b>	<b>90</b>	<b>57</b>	<b>300</b>	<b>190</b>	<b>61.22</b>	<b>38.78</b>
	<b>147</b>		<b>490</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Cruz, L. 2009

**Figura 13.**

Representación gráfica de las frecuencias por intervalos diamétricos con sus respectivas líneas de tendencia para coníferas y latifoliadas en el bosque El Cebollín.



(Cruz, L. 2009)

## BOSQUE TXEMUJ

No. Parcelas	20
Área total parcelas (ha)	0.5
Área bosque (ha)	315.96
% bosque	0.158%

**Tabla 31.**

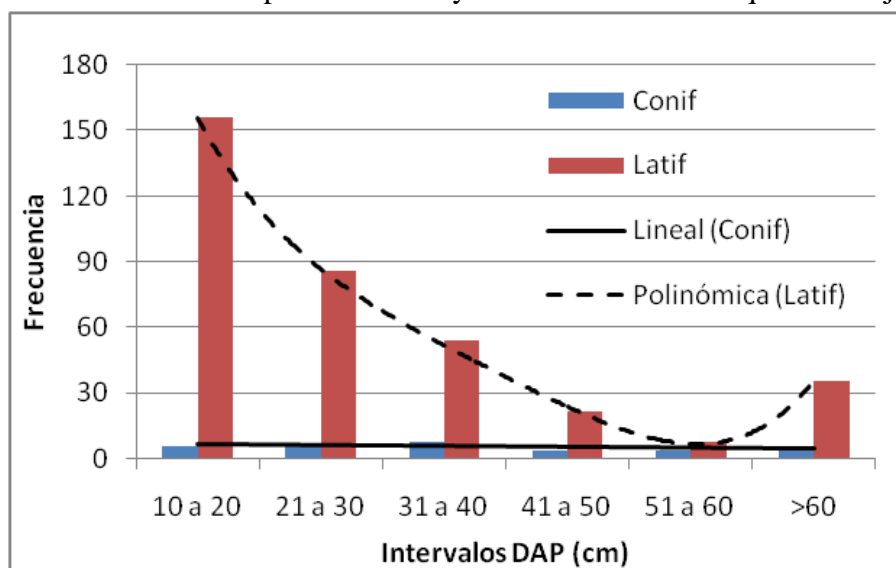
Distribución de frecuencias para intervalos diamétricos para especies coníferas y latifoliadas en el bosque Txemuj, año 2004.

Intervalo	Frecuencia		Árboles / hectárea		Proporción (%)	
	Conif	Latif	Conif	Latif	Conif	Latif
10 a 20	3	78	6	156	1.515	39.394
21 a 30	3	43	6	86	1.515	21.717
31 a 40	4	27	8	54	2.020	13.636
41 a 50	2	11	4	22	1.010	5.556
51 a 60	2	4	4	8	1.010	2.020
>60	3	18	6	36	1.515	9.091
<b>suma</b>	<b>17</b>	<b>181</b>	<b>34</b>	<b>362</b>	<b>8.59</b>	<b>91.41</b>
	<b>198</b>		<b>396</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Cruz, L. 2009

**Figura 14.**

Representación gráfica de las frecuencias por intervalos diamétricos con sus respectivas líneas de tendencia para coníferas y latifoliadas en el bosque Txemuj.



(Cruz, L. 2009)

# ANEXO C

Pruebas t de Student para la  
comparación del tonelaje de carbono  
por hectárea para los cinco bosques de  
estudio entre los años 2004 y 2008

**Tabla 32.**

Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Las Ventanas.

ID Parcela	(2004) ^2	(2008) ^2
1	3528.36	55721.93
2	2363.90	651.99
3	---	2742.95
4	879.12	10.02
5	2155.74	6975.12
6	7017.41	---
7	284.26	56446.26
8	1171.69	127299.86
9	56815.49	2747.77
10	4285.01	2484.11
11	13114.83	2667.45
12	13091.94	38.75
13	148872.51	1.41
14	4984.36	122864.97
15	232005.99	281418.54
16	31350.24	2.86
17	17158.38	5961.53
18	51860.95	212.51
19	5703.27	17840.83
20	10656.43	31.80
21	81054.09	18689.69
22	547037.74	1689.68
23	87651.52	14799.72
55	---	39.31
<b>Sumatoria</b>	<b>1323043.26</b>	<b>721339.06</b>

$n_{2004} = 22$   
 $n_{2008} = 23$   
 $S_{x1-x2} = 65.02$   
 $T = \boxed{0.95}$   
  
 $GL = 43$   
 $\text{valor } t(0.05) = \boxed{2.021}$   
 $T < t(0.05)$

<b>No existe diferencia significativa</b>
---

**Tabla 33.**

Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Guadalupe.

<b>ID Parcela</b>	<b>(2004) ^2</b>	<b>(2008) ^2</b>
1	61097.95	19061.24
2	23642.14	26523.28
3	9250.59	20721.16
4	63418.35	3902.55
5	2147.40	9357.03
6	10465.29	20586.53
7	310806.25	6143.22
8	---	26454.00
9	105449.57	21405.65
10	10681.22	10076.37
11	13588.56	10789.98
12	6907.27	30373.12
13	25769.88	36405.70
<b>Sumatoria</b>	<b>643224.48</b>	<b>241799.84</b>

$$n_{2004} = 12$$

$$n_{2008} = 13$$

$$S_{x1-x2} = 78.53$$

$$T = \boxed{0.71}$$

$$GL = 23$$

$$\text{valor } t(0.05) = \boxed{2.069}$$

$$T < t(0.05)$$

**No existe diferencia significativa**

**Tabla 34.**

Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Ojo de Agua.

ID Parcela	(2004) ^2	(2008) ^2
1	16052.89	24700.90
2	---	38293.63
4	23531.56	24761.93
5	24743.29	63256.99
6	4435.56	7685.85
7	10241.44	52725.15
10	17004.16	208336.33
11	906.01	39127.51
12	557411.56	81518.94
13	4596.84	33892.40
17	324.00	29523.18
19	---	112488.70
23	420.25	---
24	45496.89	54063.41
25	---	15092.90
26	84739.21	---
<b>Sumatoria</b>	<b>789903.66</b>	<b>785467.84</b>

$$n_{2004} = 13$$

$$n_{2008} = 14$$

$$S_{x1-x2} = 96.69$$

$$T = \boxed{0.69}$$

$$GL = 25$$

$$\text{valor } t(0.05) = \boxed{2.06}$$

$$T < t(0.05)$$

<b>No existe diferencia significativa</b>
---

**Tabla 35.**

Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Cebollín.

<b>ID Parcela</b>	<b>(2004) ^2</b>	<b>(2008) ^2</b>
1	85720.13	61812.96
2	27353.85	5349.74
3	102842.08	44609.94
4	31293.61	31042.37
5	32270.53	17720.25
6	98263.44	---
7	8244.64	---
8	73875.24	---
9	23789.98	31735.55
10	13572.25	39973.39
11	45041.57	36233.60
12	11627.31	63385.44
13	---	5494.76
14	---	39719.53
15	---	12352.29
<b>Sumatoria</b>	<b>553894.63</b>	<b>389429.81</b>

$$n_{2004} = 12$$

$$n_{2008} = 12$$

$$S_{x1-x2} = 84.54$$

$$T = \boxed{0.35}$$

$$GL = 22$$

$$\text{valor } t(0.05) = \boxed{2.074}$$

$$T < t(0.05)$$

<b>No existe diferencia significativa</b>
---

**Tabla 36.**

Prueba de t de Student realizada a las medias de los resultados de tC/ha en las parcelas de 2004 y 2008 para el Bosque Txemuj.

<b>ID Parcela</b>	<b>(2004) ^2</b>	<b>(2008) ^2</b>
1	6637.36	57446.31
2	82013.50	6633.86
3	408052.66	626870.52
4	199987.84	24869.82
5	64699.01	39047.69
6	263836.32	19650.82
7	569798.52	266380.19
8	51842.74	0.00
9	157402.63	0.00
11	402945.65	12470.64
12	78584.91	228170.45
13	8003.09	35346.32
14	588381.04	220230.98
15	479113.15	423390.40
17	423.95	11362.72
19	28804.88	59337.11
20	52849.41	5716.25
21	51447.31	9392.28
23	171031.87	35909.26
24	78697.08	104002.91
27	0.00	61353.39
28	0.00	21885.63
<b>Sumatoria</b>	<b>3744552.94</b>	<b>2269467.55</b>

$$n_{2004} = 20$$

$$n_{2008} = 20$$

$$S_{x1-x2} = 125.80$$

$$T = \boxed{0.78}$$

$$GL = 38$$

$$\text{valor } t(0.05) = \boxed{2.074}$$

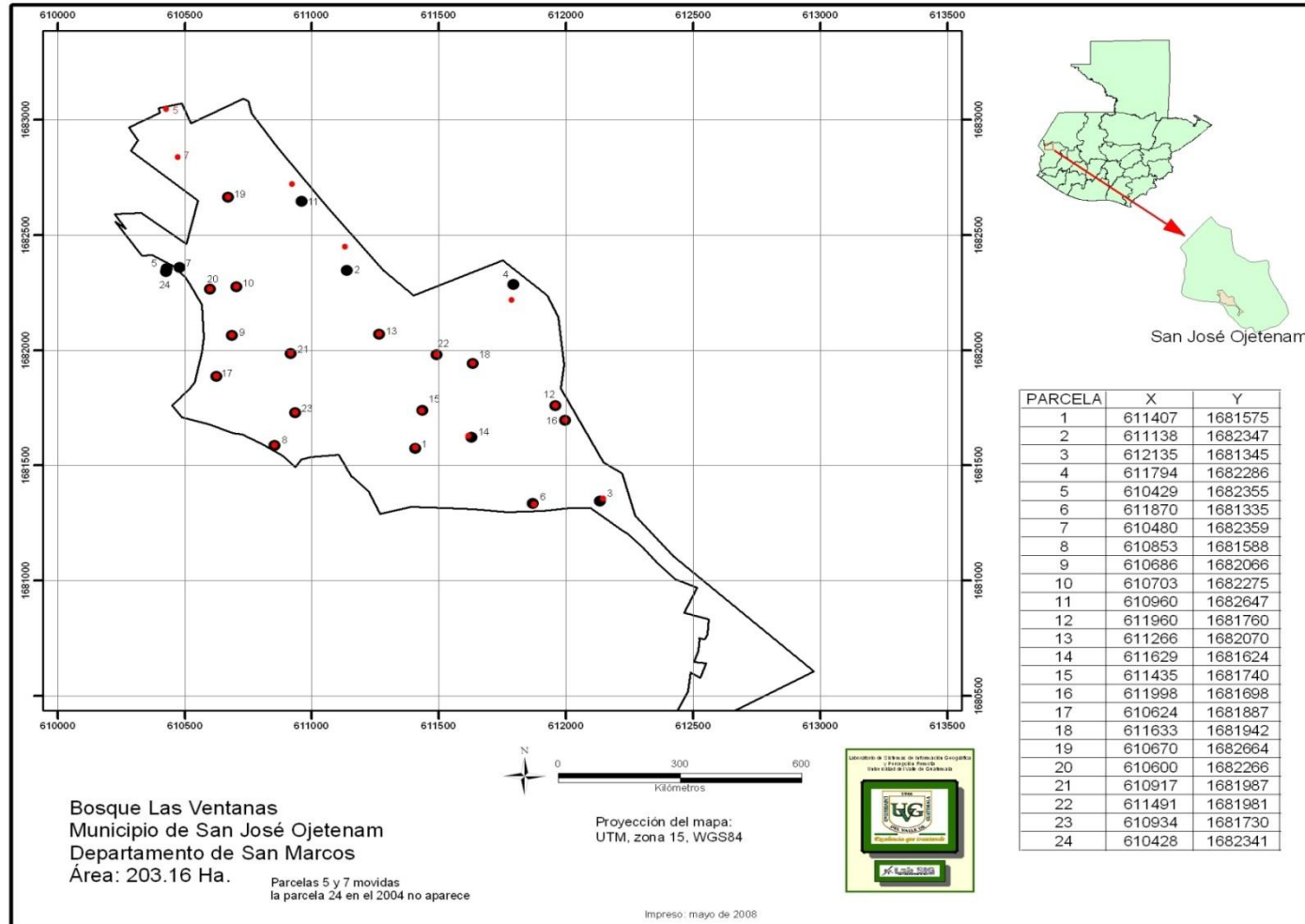
$$T < t(0.05)$$

<b>No existe diferencia significativa</b>
---

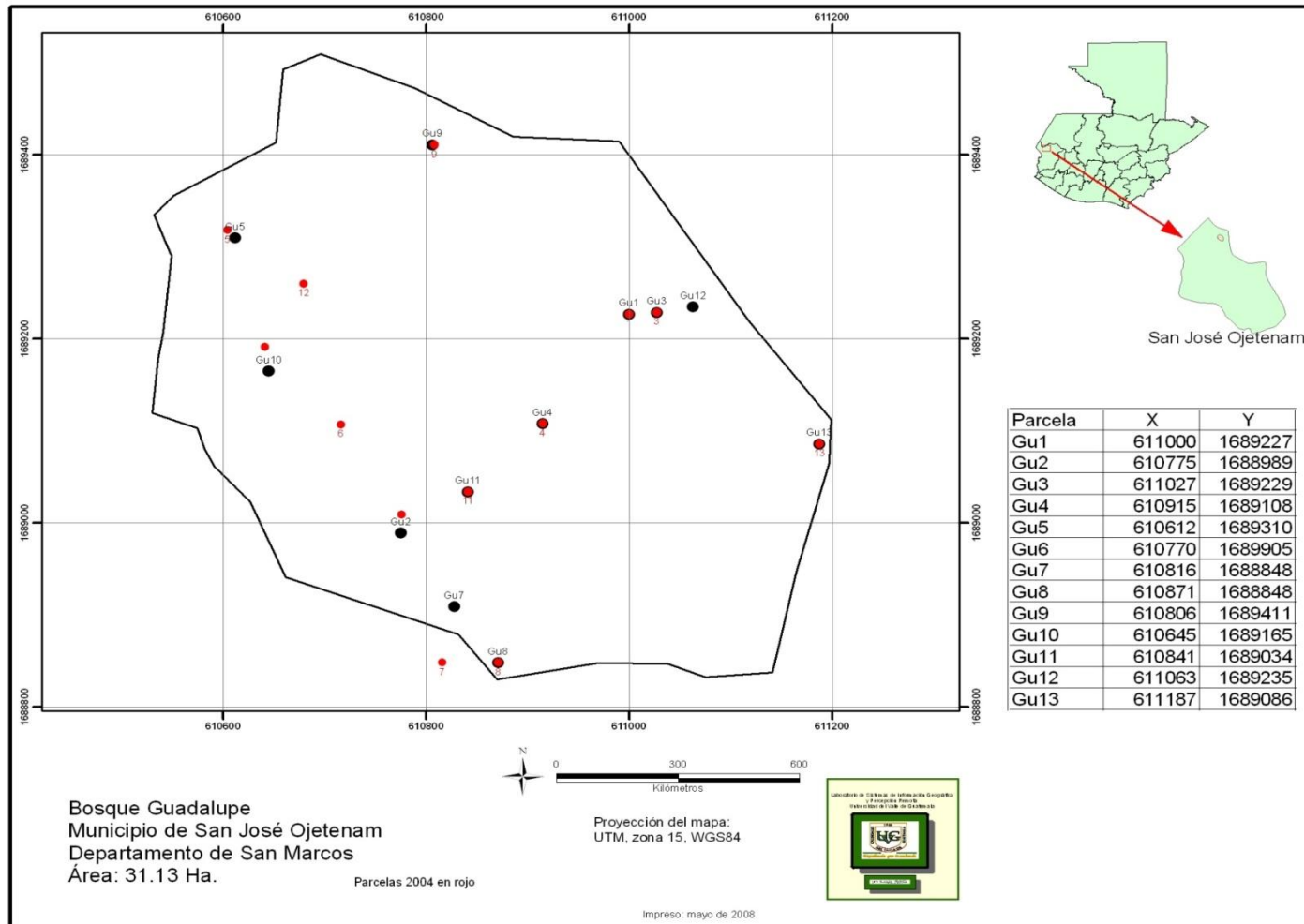
# ANEXO D

Mapeo de las parcelas muestreadas en  
los cinco bosques en los años  
2,004 y 2,008

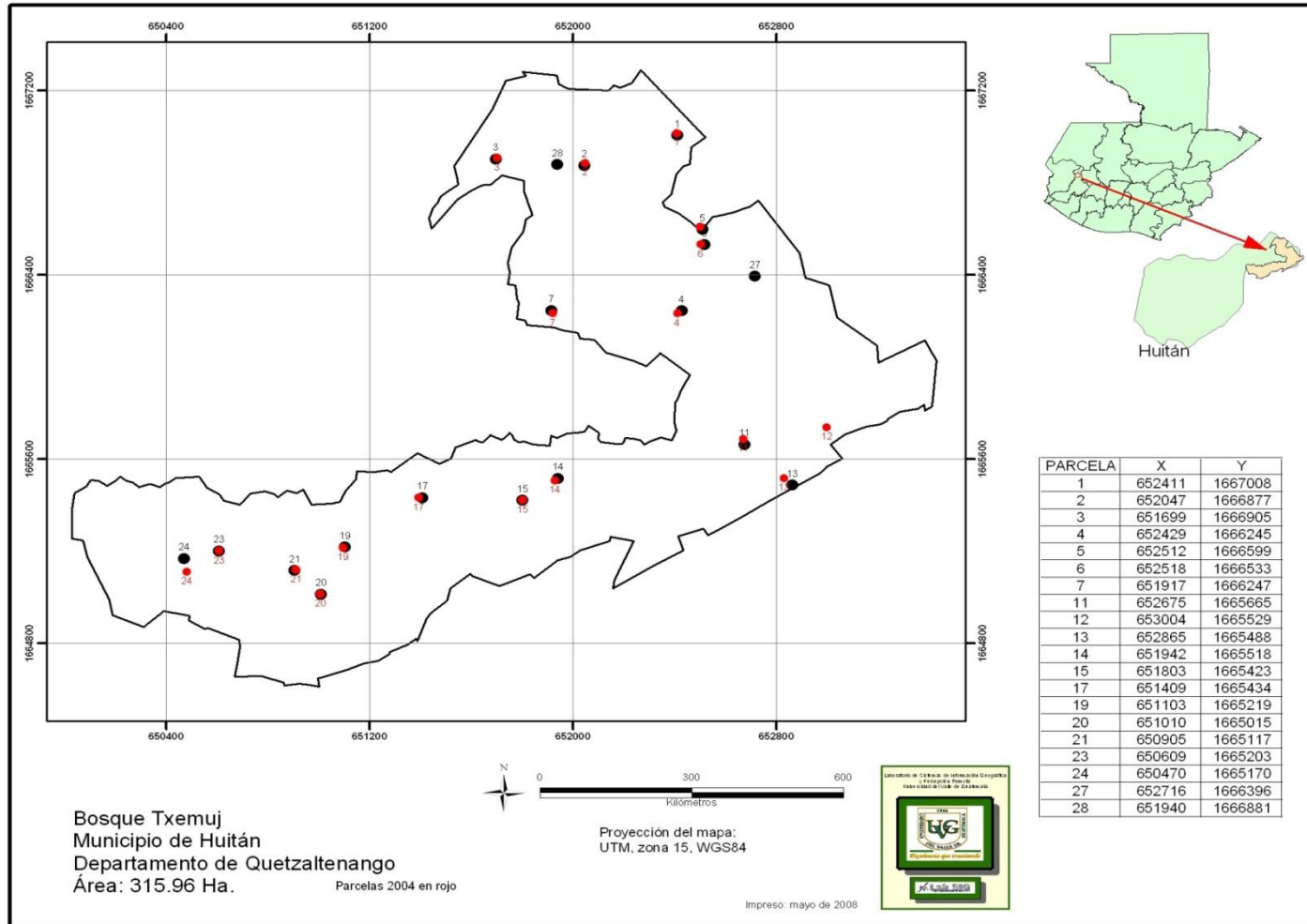
**Mapa 1:** Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Las Ventanas. Años 2004 y 2008.



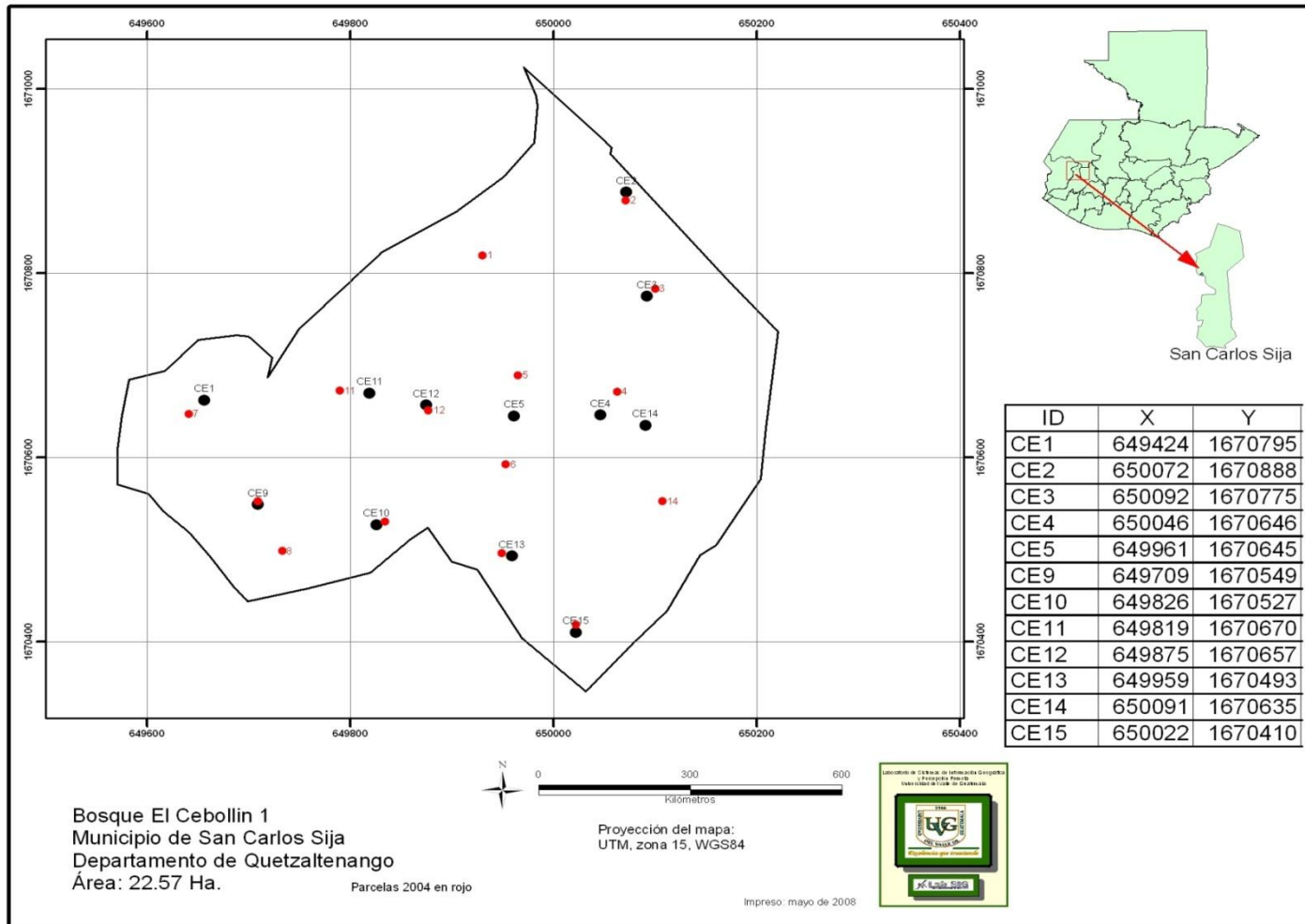
**Mapa 2:** Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Guadalupe. Años 2004 y 2008



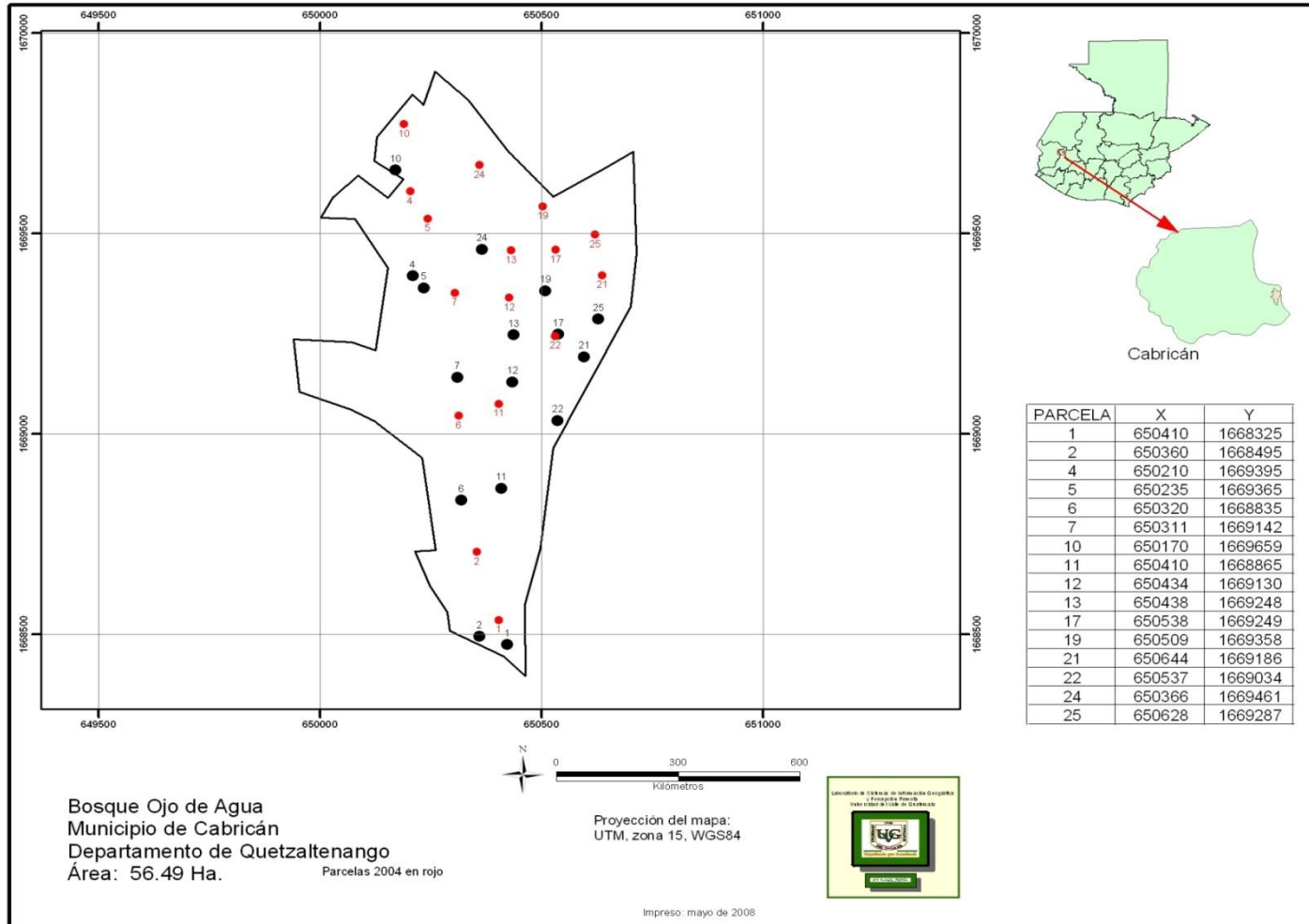
**Mapa 3:** Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Txemuj. Años 2004 y 2008



**Mapa 4:** Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Cebollín. Años 2004 y 2008



**Mapa 5:** Ubicación de las parcelas muestreadas en el Bosque Ojo de Agua. Años 2004 y 2008

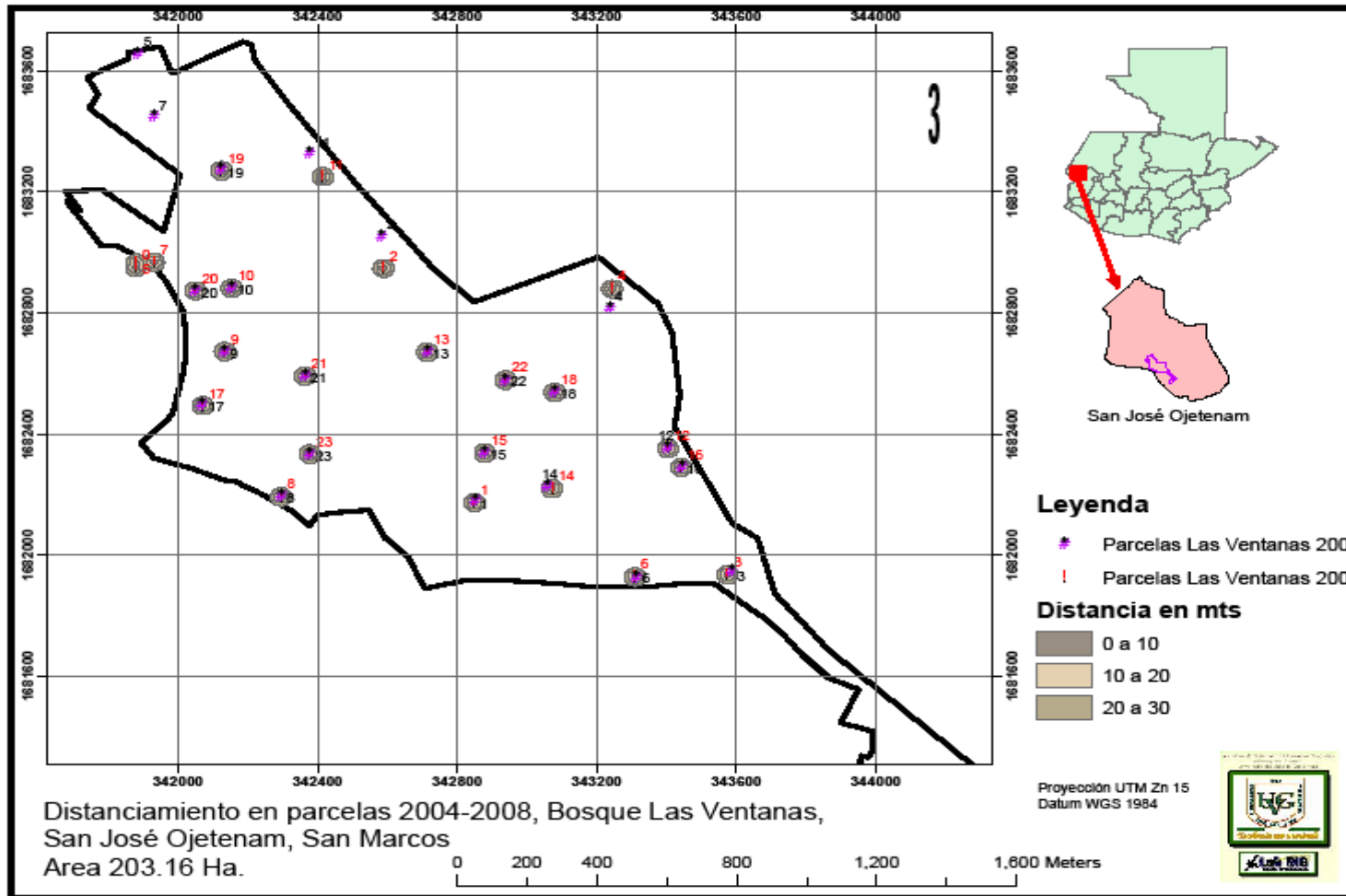


# ANEXO E

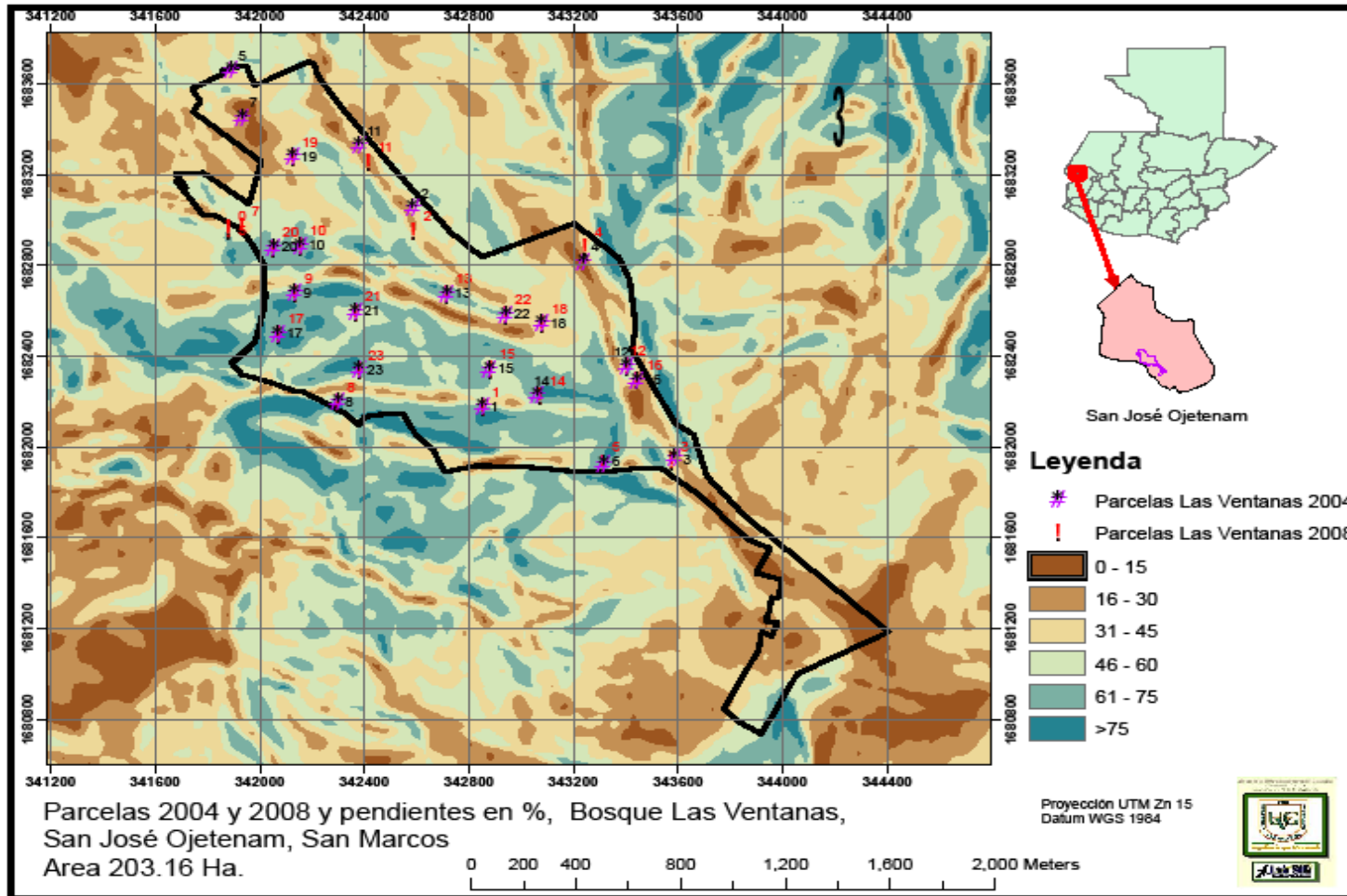
Fotointerpretación del bosque

Las Ventanas

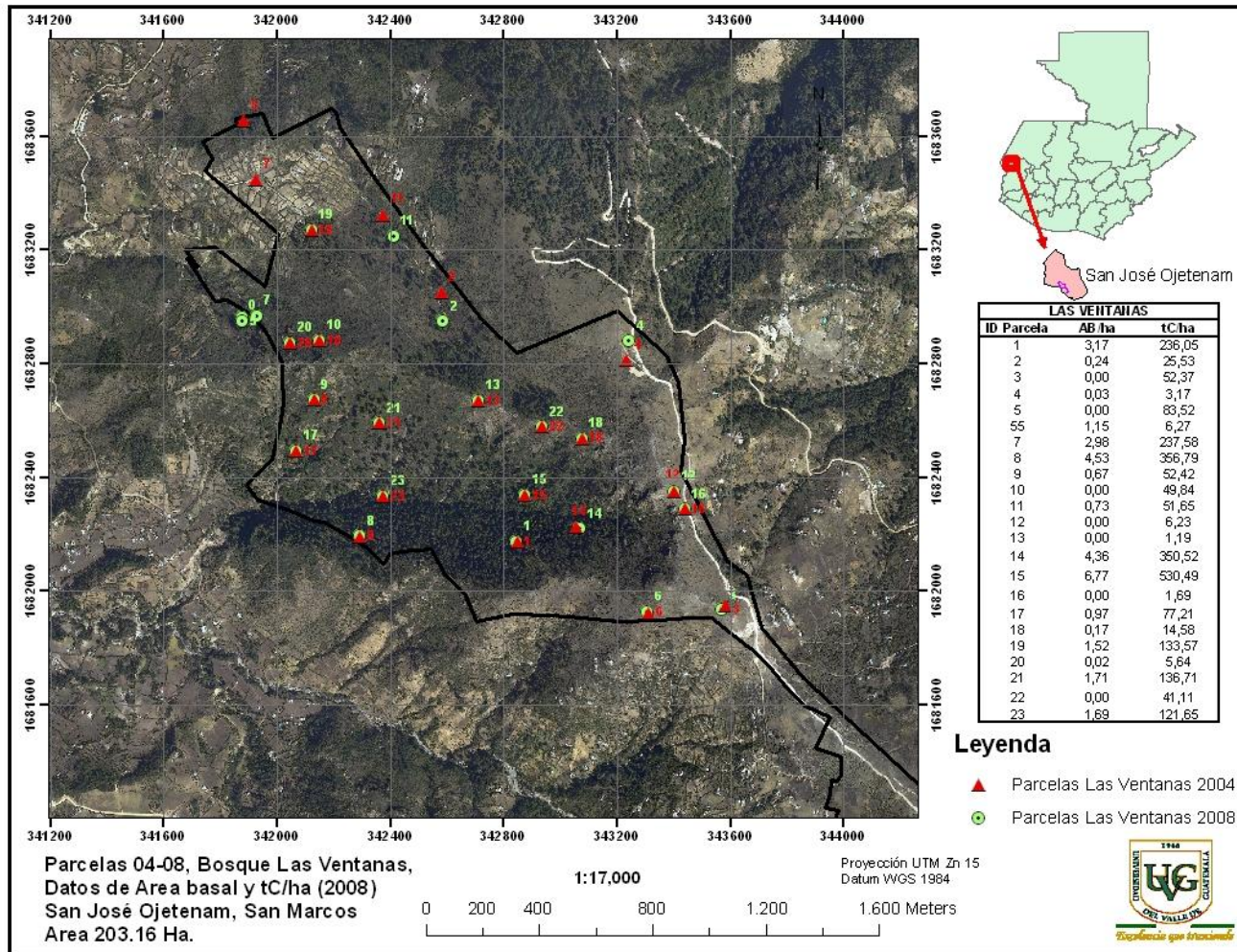
**Mapa 6.** Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Las Ventanas, San José Ojetenam, San Marcos



**Mapa 7.** Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Las Ventanas, San José Ojetenam, San Marcos



**Mapa 8.** Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Las Ventanas, San José Ojetenam, San Marcos

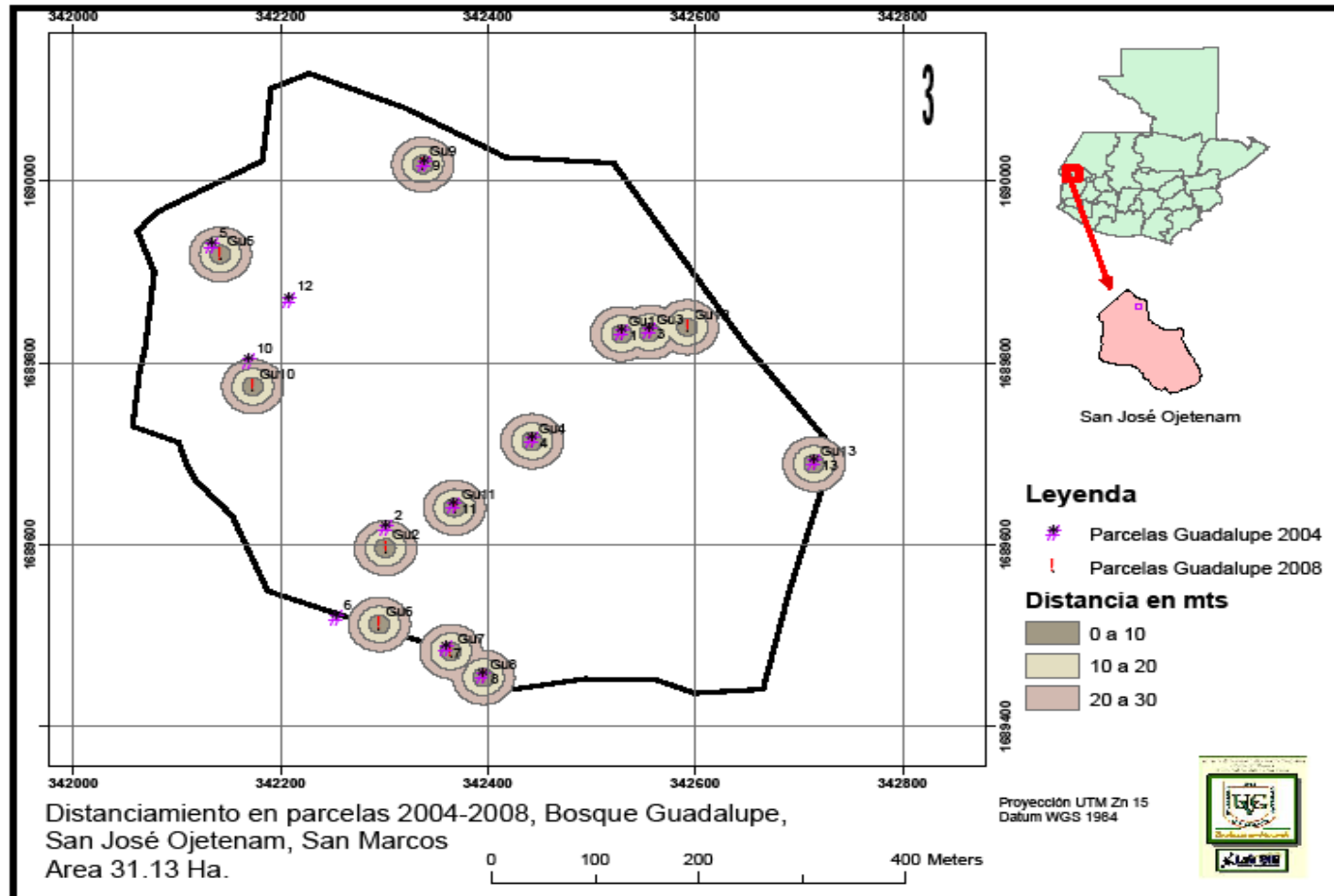


# ANEXO F

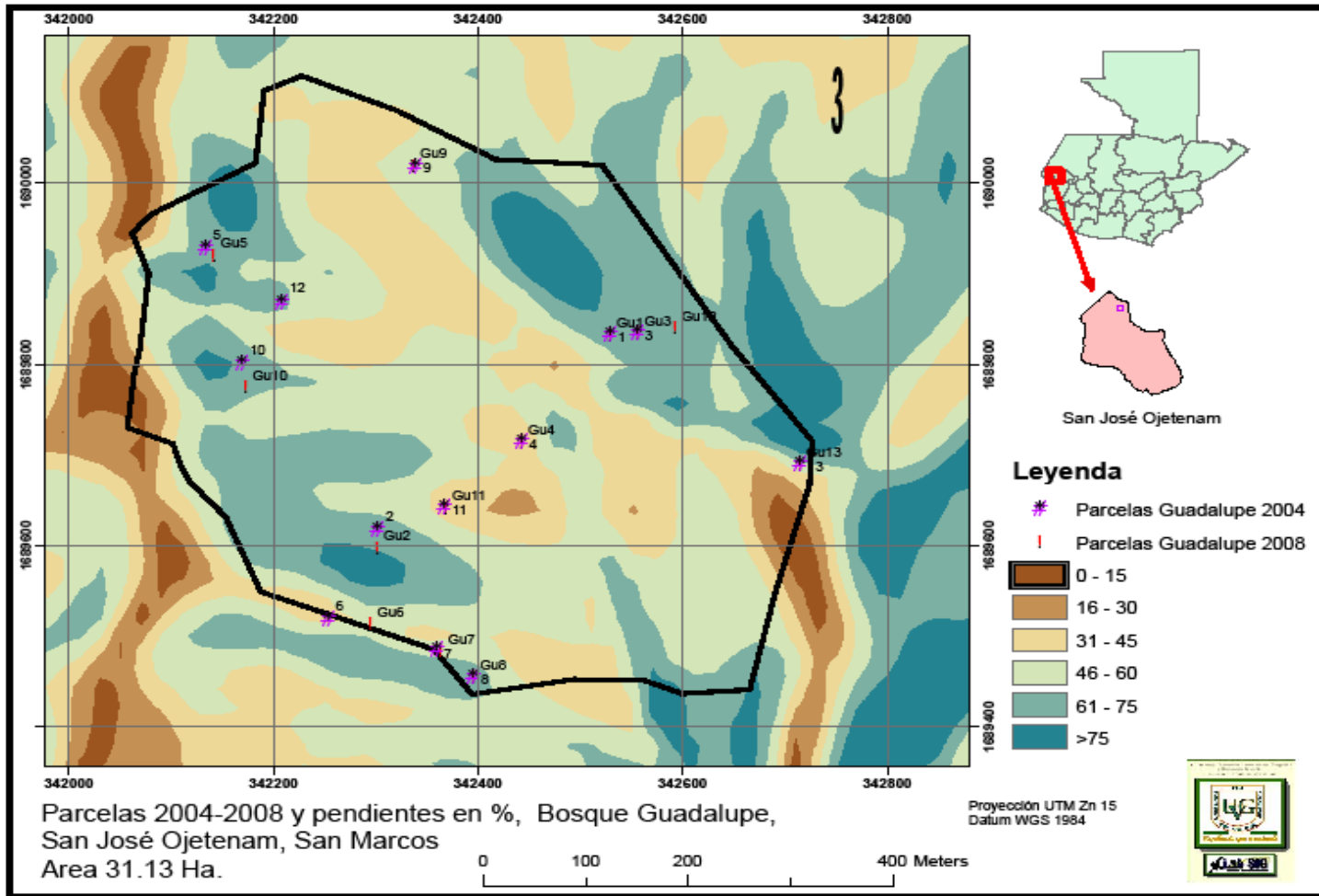
Fotointerpretación del bosque

Guadalupe

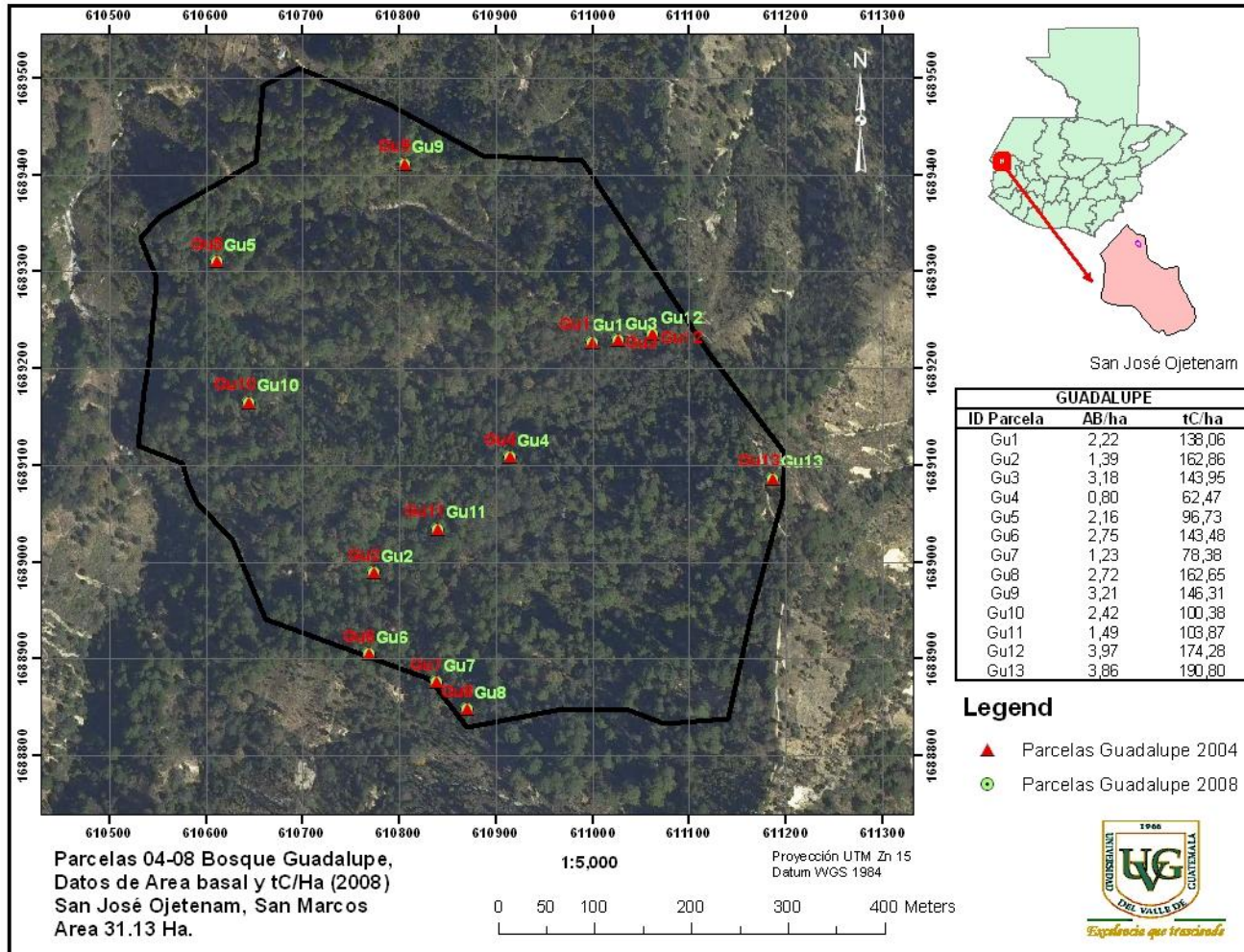
**Mapa 9.** Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Guadalupe, San José Ojetenam, San Marcos



**Mapa 10.** Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Guadalupe, San José ojetenam, San Marcos



Mapa 11. Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Guadalupe, San José ojetenam, San Marcos

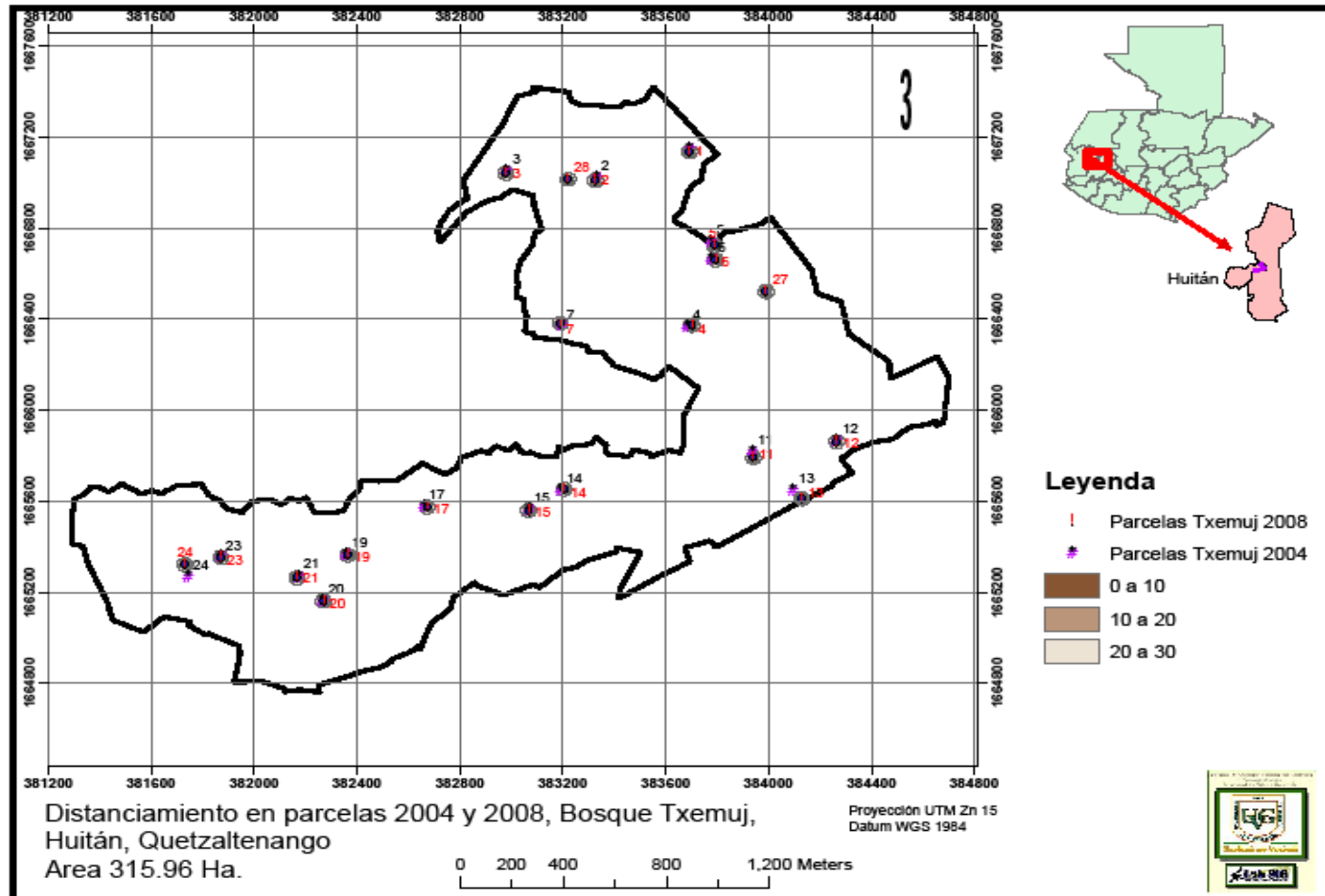


# ANEXO G

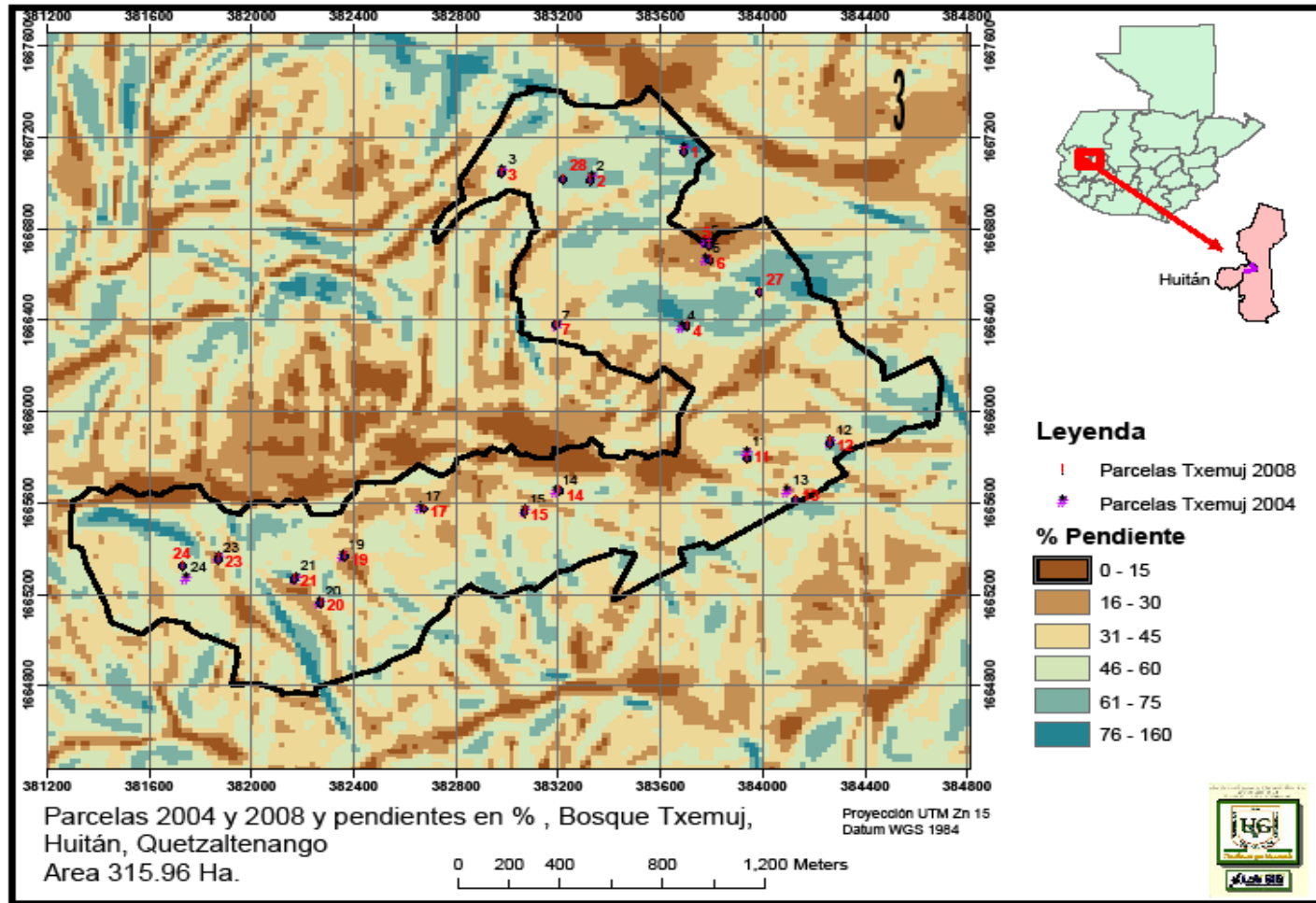
Fotointerpretación del bosque

Txemuj

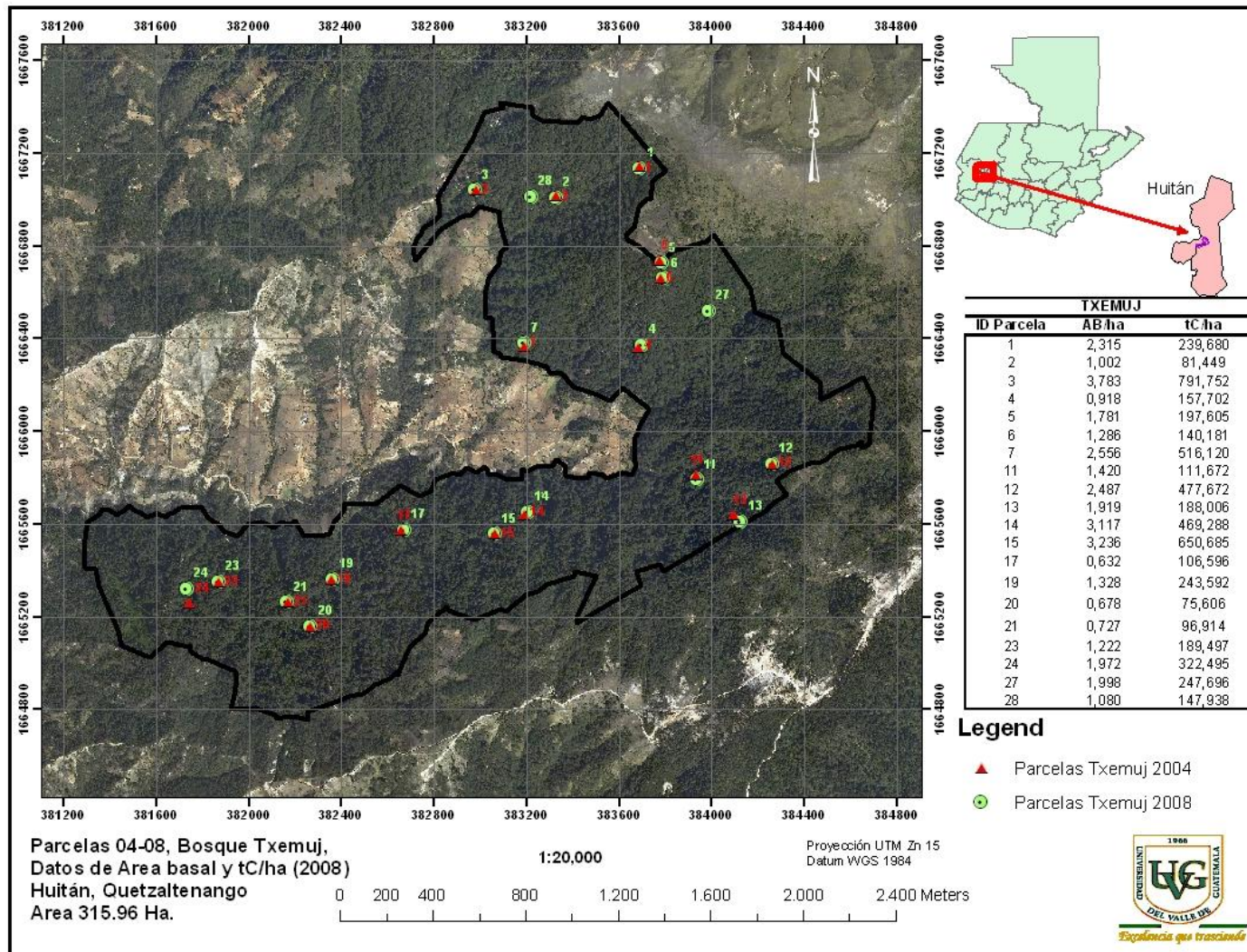
**Mapa 12.** Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Txemuj, Huitán, Quetzaltenango.



Mapa 13. Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Txemuj, Huitán, Quetzaltenango.



Mapa 14. Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofotoen el bosque Txemuj, Huitán, Quetzaltenango

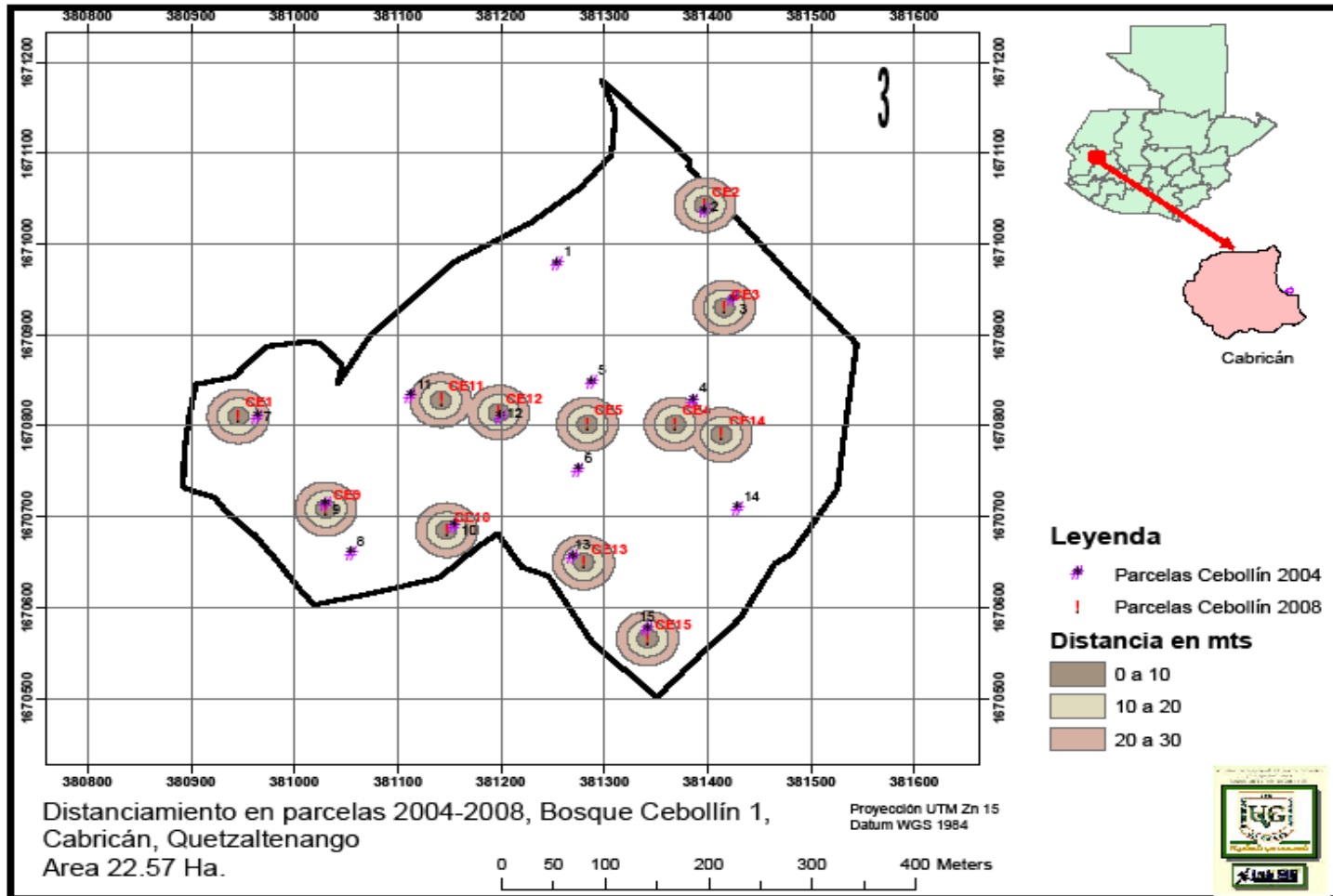


# ANEXO H

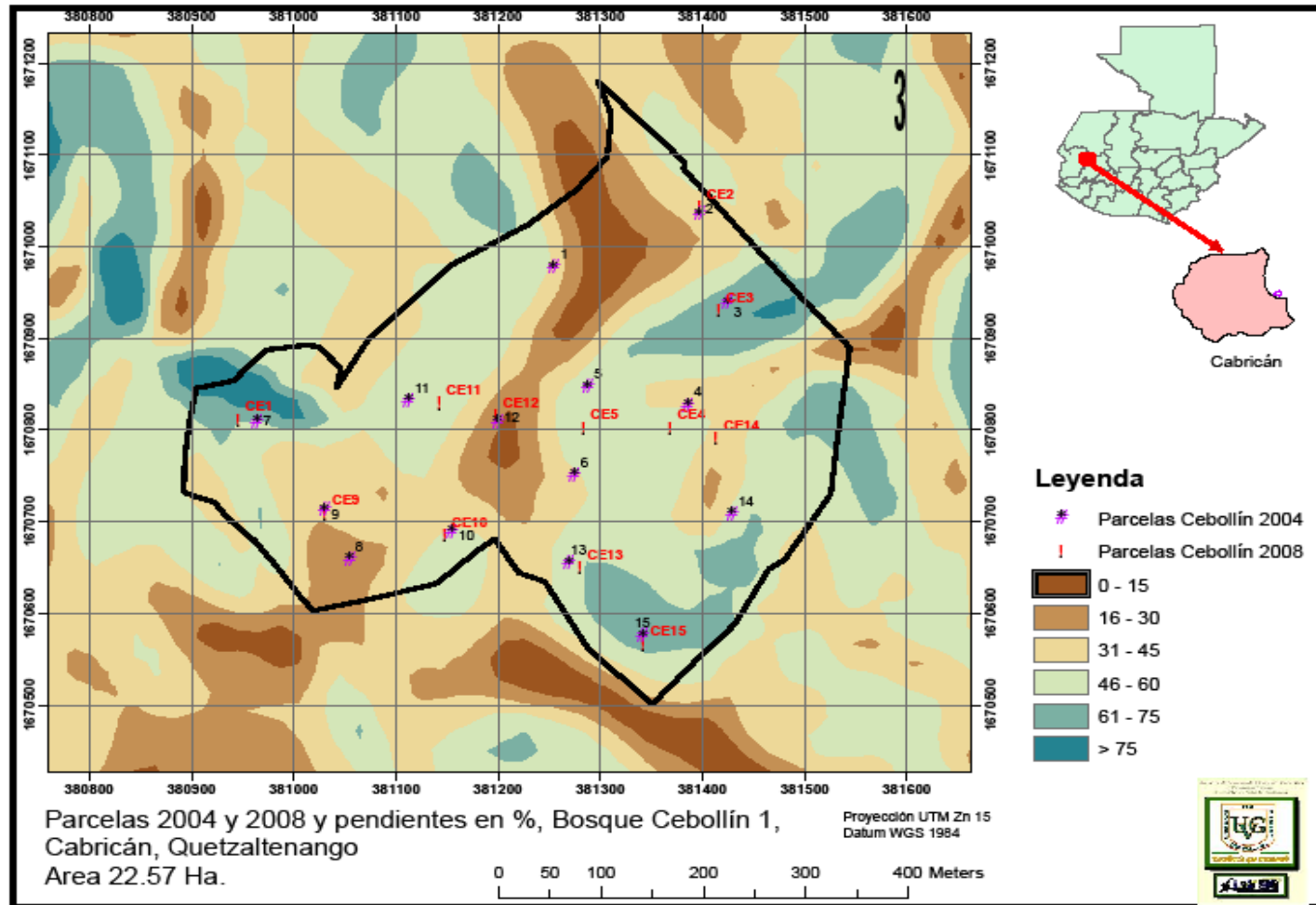
Fotointerpretación del bosque

Cebollín

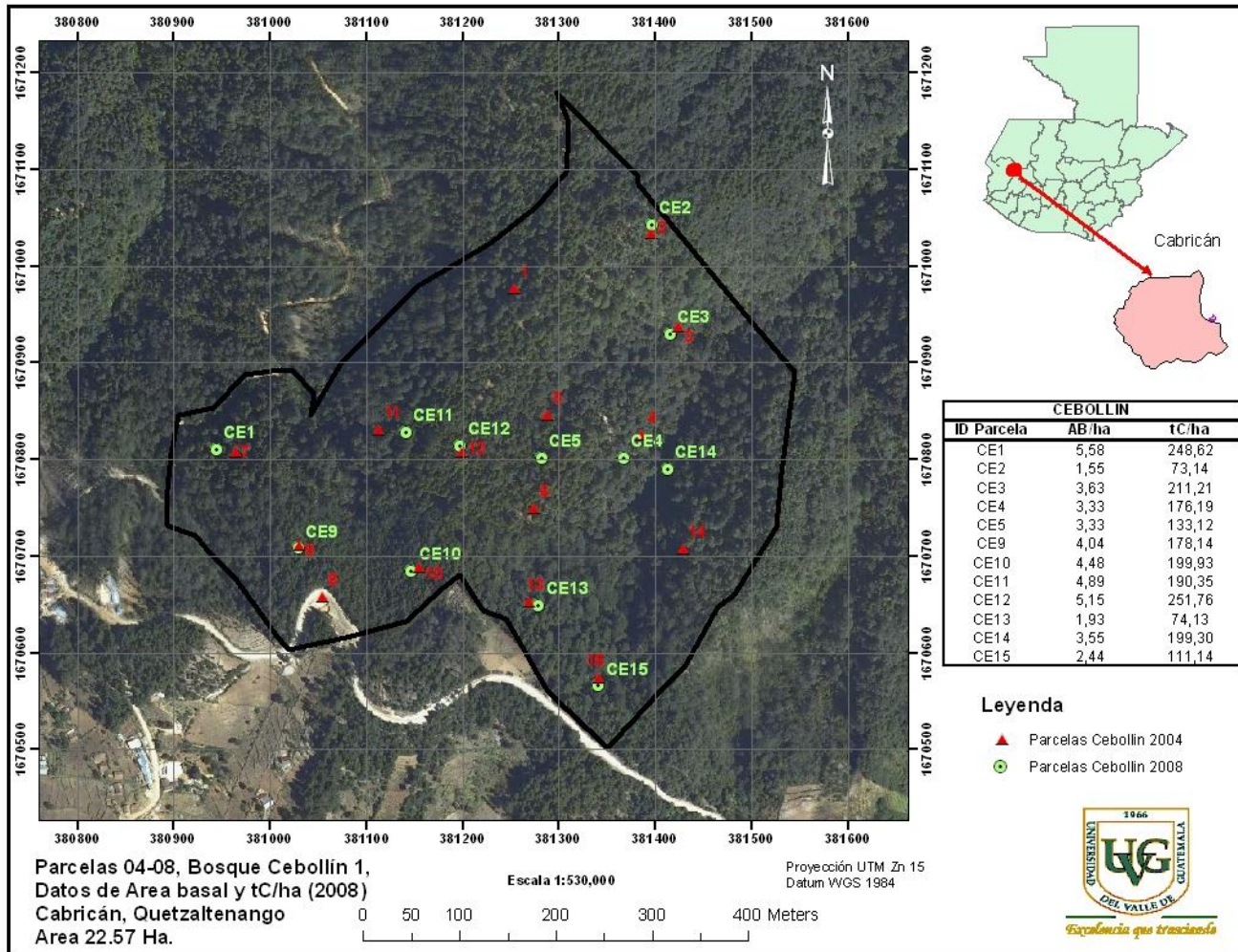
**Mapa 15.** Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Cebollín, Cabricán, Quetzaltenango.



**Mapa 16.** Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Cebollín, Cabricán, Quetzaltenango.



Mapa 17. Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Cebollin, Cabricán, Quetzaltenango

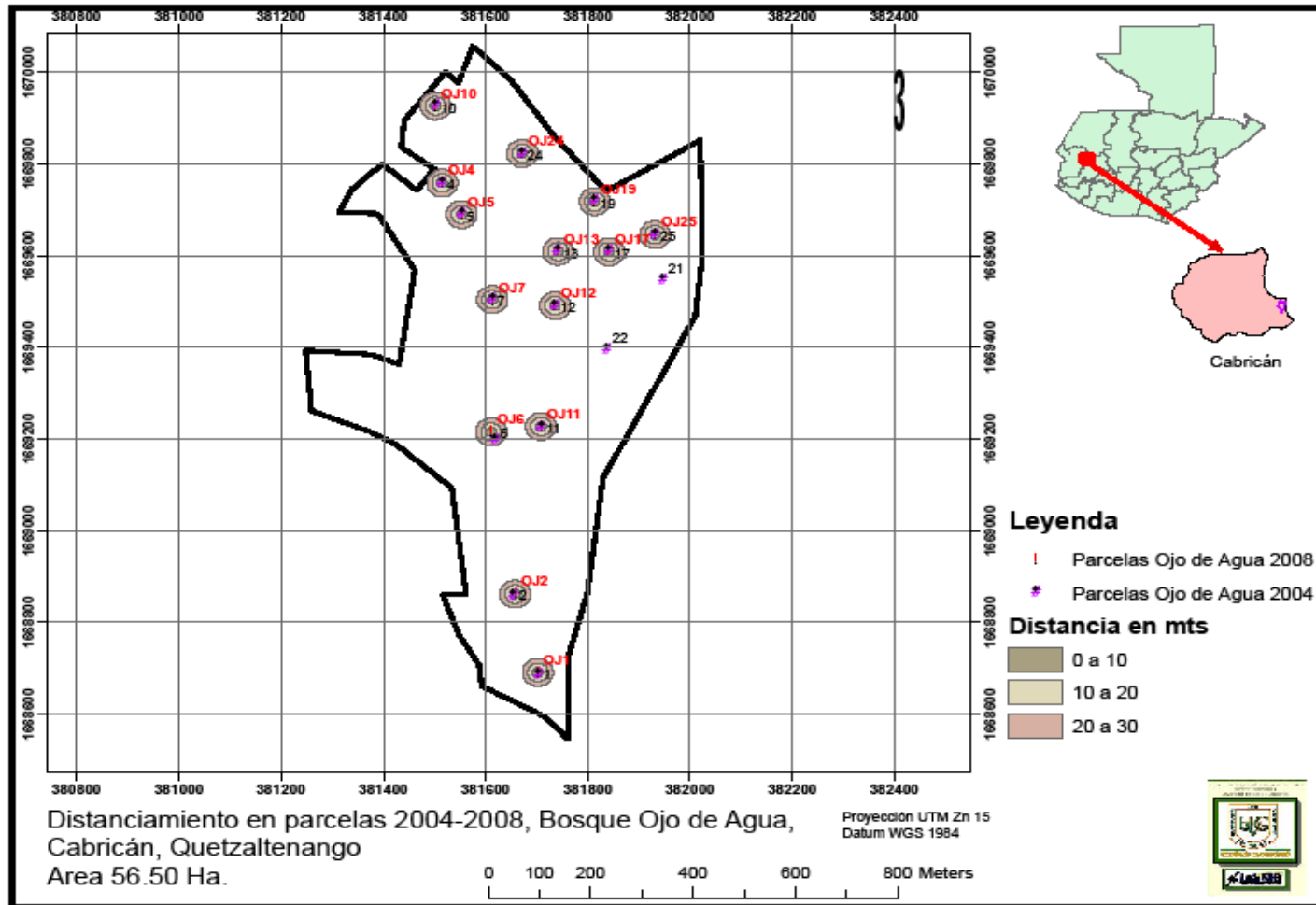


# ANEXO I

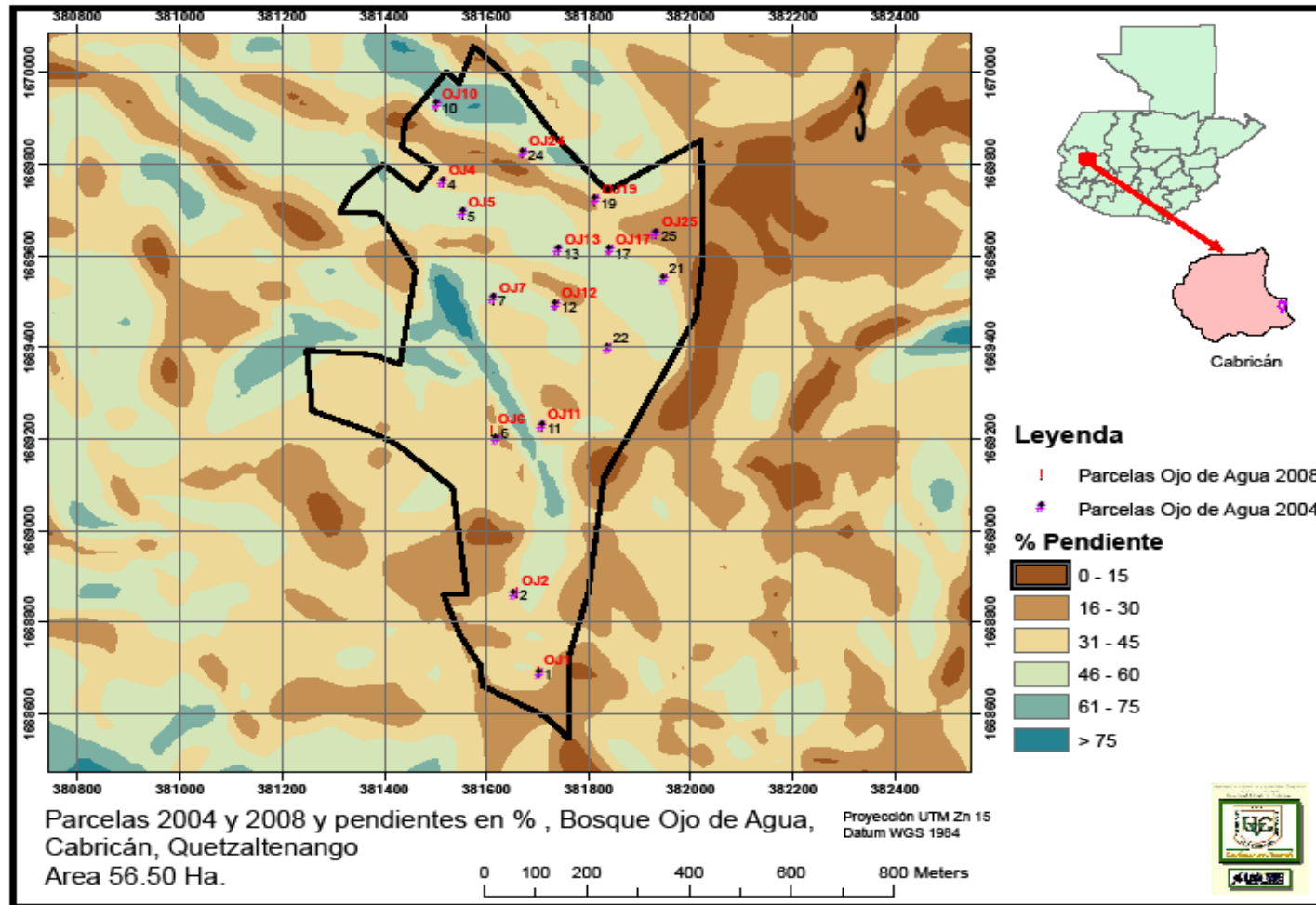
Fotointerpretación del bosque

Ojo de agua

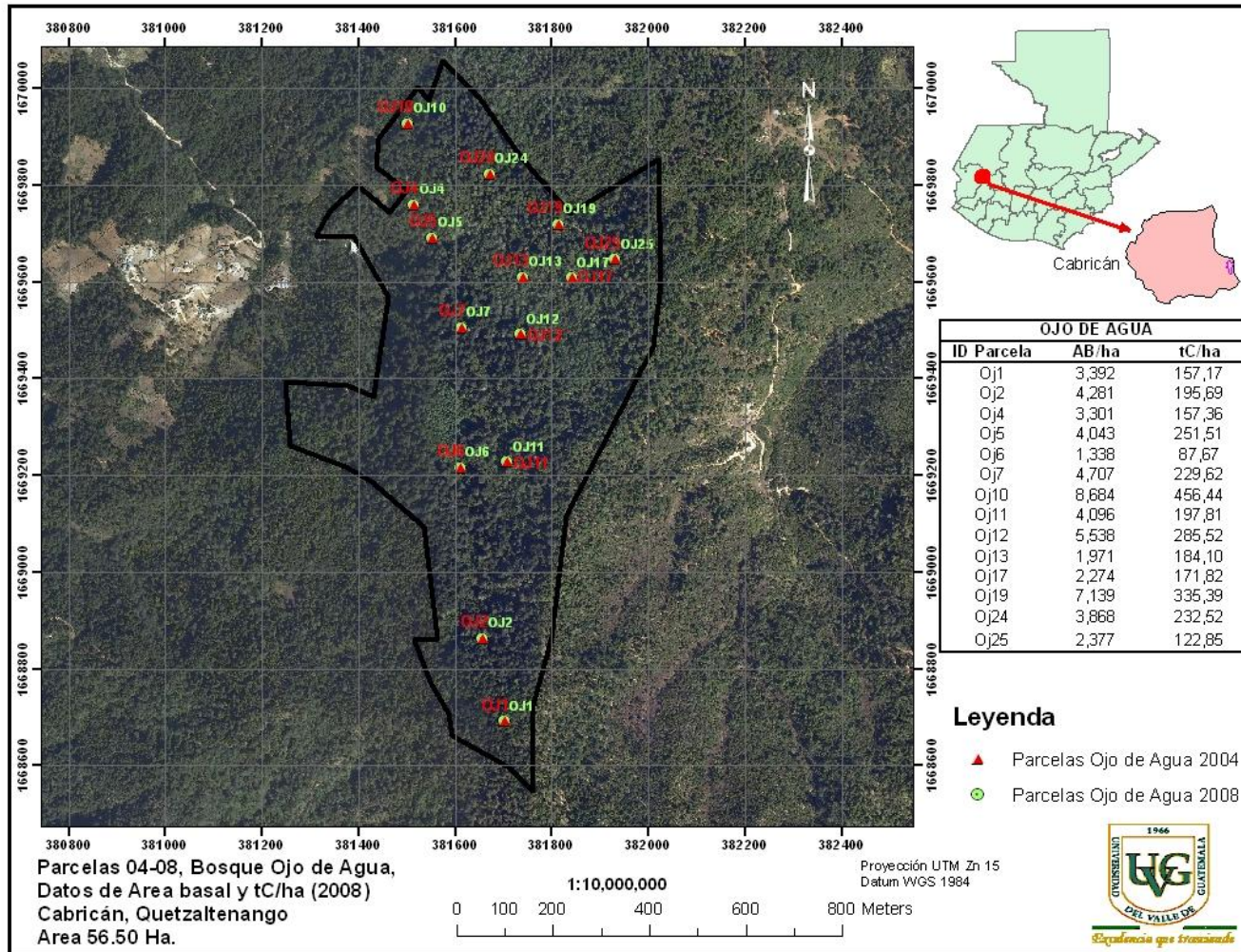
**Mapa 18.** Aplicación de “Buffers” para análisis de la distancia entre las parcelas del 2,004 y 2,008 en el bosque Ojo de agua, Cabricán, Quetzaltenango.



**Mapa 19.** Ubicación de las parcelas 2004 y 2008, y pendientes en porcentaje (%) en el bosque Ojo de agua, Cabricán, Quetzaltenango.



Mapa 20. Parcelas 2004 y 2008 sobre ortofoto en el bosque Ojo de Agua, Cabricán, Quetzaltenango



# ANEXO J

Boleta de campo utilizada para la toma  
de datos



## BOLETA DE CAMPO

Nombre del Bosque: \_\_\_\_\_

Municipio: \_\_\_\_\_ Estrato: \_\_\_\_\_ Parcela: \_\_\_\_\_  
COORDENADAS: \_\_\_\_\_

## Datos de árboles

No.	Tipo	Especie	Altura (m)	DAP (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

## Datos de Arbustos

No.	Por largo			Por peso		
	Longitud (m)	Diámetro eje principal (cm)	Diámetro dosel (m)	Peso campo total (g)	Peso muestra campo (g)	Peso muestra seco (g)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						

**Datos de maleza**

Peso húmedo de campo (g)	Peso húmedo muestra (g)	Peso seco muestra (g)

**Datos de hojarasca**

Peso húmedo de campo (g)	Peso húmedo muestra (g)	Peso seco muestra (g)

**Datos de Suelo**

Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso seco fino (g)	Peso carbono (g)

**Uso exclusivo laboratorio**

% carbono	Peso seco muestra (g)

