



Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF)

Proyectos REDD+

Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (MiAmbiente)

Procedimientos de Cálculos en la Base de datos INF de Honduras

Preparado por:

Asdrúbal Calderón Amaya
Consultor

Presentado a:

Betina Salgado, ICF
Wilson Morales, ICF
Amy Lazo, Proyecto REDD+

Tegucigalpa, Honduras
Marzo, 2016

Contenido

1. Introducción	3
2. Estimaciones a nivel de árbol.....	4
2.1. Árboles por hectárea	4
2.2. Área basal.....	6
2.3. Altura total y comercial.....	7
2.4. Volumen total y comercial del árbol.....	7
2.5. Biomasa aérea.....	8
2.6. Biomasa subterránea	10
2.7. Carbono y CO ₂ equivalente	10
3. Madera muerta caída.....	11
3.1. Cálculo del volumen.....	11
3.2. Densidad y contenido de carbono	12
3.3. Biomasa, carbono y CO ₂	12
3.4. CUT y otros sistemas de clasificación	13
4. Uso o cobertura de la tierra	13
5. Hojarasca.....	14
5.1. Tipo de parcela.....	14
5.2. Biomasa hojarasca	14
5.3. Carbono y CO ₂	15
6. Regeneración	16
6.1. Regeneración por hectárea.....	16
6.2. CUT y Clasificaciones equivalentes	16
7. Tocones (madera muerta)	17
7.1. Volumen por hectárea	17
7.2. Densidad de la madera y contenido de carbono.....	18
7.3. Biomasa, carbono y CO ₂	18
7.4. CUT y Clasificaciones equivalentes	19
8. Conclusiones y recomendaciones.....	20

1. Introducción

En el presente documento se detallan los principales procedimientos de cálculos y estimaciones estadísticas, así como las ecuaciones alométricas para el cálculo de volumen, biomasa y carbono para el inventario Nacional Forestal de Honduras. Los cálculos se aplican para todos los ciclos de medición.

Los procedimientos de cálculos que a continuación se describen se almacenan en la tabla que tiene por nombre **sibp_calculationfields** de la base de datos del INF; dicha tabla es utilizada por el software SIBP2 para realizar los cálculos definidos por el usuario y a la vez almacenar los resultados en los campos correspondientes. Los procedimientos de cálculos tienen un orden secuencial que permite usar cálculos basados en otros cálculos; por ejemplo, para calcular el volumen por hectárea se debe calcular primero la cantidad de árboles por hectárea a fin de multiplicar dicha cantidad por el volumen de los árboles individuales. La tabla **sibp_calculationfiels** tiene los campos siguientes:

Tabla 1. Campos de la tabla para almacenar la descripción de los cálculos

No.	Campo	Tipo y longitud	Descripción
1	configurationnumber	Numérico	Número de configuración
2	tablename	Texto corto	Nombre de la tabla que contiene el campo por calcular
3	fieldname	N,LI	Nombre del campo a calcular
4	presentationorder	Numérico	Orden de presentación o cálculo
5	fieldname_p	Texto corto	Nombre descriptivo del campo por calcular en el idioma primario
6	fieldname_s	Texto corto	Nombre descriptivo del campo por calcular en el idioma secundario
7	fielddescription_p	Texto corto	Descripción más amplia del campo por calcular la cual se hace en el idioma primario.
8	fielddescription_s	Texto corto	Descripción o explicación más amplia del campo por calcular la cual se hace en el idioma secundario.
9	fieldunits	Texto corto	Unidades de medida del cálculo correspondiente.
10	fieldtype	Texto corto	Tipo de campo (texto, número, etc.)
11	fieldlength	Numérico	Longitud total del campo
12	decimalsnumber	Numérico	Número de decimales a usar, en caso de que sea un campo de doble precisión.
13	fieldformat	Texto corto	Formato de presentación del campo; se forma con la longitud del campo y el número de decimales.

No.	Campo	Tipo y longitud	Descripción
14	useforcalculations	Lógico	Es un campo usado para cálculos de regresión (si/no)
15	tablenameoldversion	Texto corto	Nombre de la tabla que contenía el campo en versiones previas de SIBP2
16	fieldnameoldversion	Texto corto	Nombre del campo en versiones previas de SIBP2.
17	calculationtype	Texto corto	Tipo de cálculo: especial o SQL; especial es un tipo de cálculo que ya está predefinido en SIBP2 y SQL es una expresión en lenguaje SQL.
18	sqlexpression	Texto corto	Expresión SQL.
19	specialexpression	Texto corto	Tipo de cálculo predefinido
20	specialtable	Texto corto	Tabla especial que se asocia con un cálculo predefinido
21	specialfield	Texto corto	Campo especial asociado con el cálculo predefinido.
22	representdbh	Texto corto	Variable que representa el DAP en el cálculo predefinido.
23	representtotalheight	Texto corto	Variable que representa la altura total en el cálculo predefinido.
24	representcommheight	Texto corto	Variable que representa la altura comercial o del fuste en el cálculo predefinido.

A continuación se describen de manera detallada los cálculos realizados para estimar árboles por hectárea, área basal, volúmenes, biomasa y carbono para árboles individuales; más adelante en el documento se muestran los cálculos para tocones, hojarasca, madera muera caída, entre otros.

2. Estimaciones a nivel de árbol

A continuación se detallan los cálculos para la tabla de árboles (**aa_trees**), la mayoría de los cálculos hacen uso de instrucciones SQL y se almacenan en la base de datos a fin de que se puedan utilizar en el cálculo de variables de SIBP2.

2.1. Árboles por hectárea

En el diseño del inventario se han utilizado unidades de muestreo de cuatro parcelas con dos tamaños principales que son: de 20m x 250m (2 ha/UM – **tipo 1** -) y 20m x 130m (1.04 ha/UM – **tipo 2**-); además, se tienen parcelas anidadas (PAN1) de 10m x 20 m, en el caso de las parcelas de 20m x 250m se tienen tres PAN1 por parcela (12/UM- 0.24 ha) y en el caso de la

parcelas de 20m x 130m se tienen dos PAN1 por parcela (8/UM- 0.16 ha). En este sentido cada árbol en la unidad de muestreo representa la siguiente cantidad de árboles por hectárea:

- Si el árbol está en una unidad de muestreo **tipo 1**:
 - Si el DAP es mayor o igual que 20 cm representa 0.5 árboles/ha
 - Si el DAP está entre 10 y 19.9 cm y se ubica en una PAN1 con uso forestal representa 4.1667 árboles/ha, en caso contrario representa 0.5 árboles/ha.
- Si el árbol está en una unidad de muestreo **tipo 2**:
 - Si el DAP es mayor o igual que 20 cm representa 0.9615 árboles/ha
 - Si el DAP está entre 10 y 19.9 cm y se ubica en una PAN1 con uso forestal representa 6.25 árboles/ha, en caso contrario representa 0.9615 árboles/ha.

Previo al cálculo de árboles por hectárea se hace necesario establecer en qué tipo de parcela se ubica el árbol, las opciones son: 1-20m x 250 m o 2-20m x 130 m; el tipo de parcela está en la tabla de unidad de muestreo (aa_tract) y se debe almacenar en el campo **tre_plottype** de la tabla **aa_tree** y la instrucción SQL que se usa es la siguiente:

```
UPDATE aa_tract INNER JOIN aa_tree ON (aa_tract.tra_tractnumber = aa_tree.tre_tractnumber) AND (aa_tract.tra_measurementnumber = aa_tree.tre_measurementnumber) AND (aa_tract.tra_inventorynumber = aa_tree.tre_inventorynumber) SET aa_tree.tre_plottype = If([aa_tract].[tra_plotdesigntype]="01",1,2)
```

Otro campo que se requiere en la tabla de árboles es la definición de si el árbol se ubica en un CUT de bosque o no bosque; esto es particularmente importante para los árboles con DAP menor que 20 cm. El código del CUT se toma de la tabla **aa_landusearea** y dichos códigos se reemplazan en la tabla de árboles en el campo **tre_landusecode** mediante la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusearea INNER JOIN aa_tree ON (aa_landusearea.lus_landusenummer = aa_tree.tre_landuse) AND (aa_landusearea.lus_plotnumber = aa_tree.tre_plotnumber) AND (aa_landusearea.lus_tractnumber = aa_tree.tre_tractnumber) AND (aa_landusearea.lus_measurementnumber = aa_tree.tre_measurementnumber) AND (aa_landusearea.lus_inventorynumber = aa_tree.tre_inventorynumber) SET aa_tree.tre_landusecode = [aa_landusearea].[lus_landusecode]
```

Una vez que se ha definido el tipo de CUT se debe establecer si el CUT es de la categoría bosque o no bosque, en la tabla **cc_landuse** se tiene un campo llamado **level1** que define si el CUT es bosque o no bosque. Para cada uno de los árboles se define si dicho árbol se ubica en bosque o no bosque mediante la siguiente instrucción SQL:

```
UPDATE cc_landuse INNER JOIN aa_tree ON cc_landuse.code = aa_tree.tre_landusecode SET aa_tree.tre_landuselevel1 = [cc_landuse].[level1], aa_tree.tre_landuselevel2 = [cc_landuse].[level2], aa_tree.tre_landuselevel3 = [cc_landuse].[level3], aa_tree.tre_landusefao = [cc_landuse].[classfao], aa_tree.tre_landusemap1995 = [cc_landuse].[classmap1995], aa_tree.tre_landusemap2009 = [cc_landuse].[classmap2009], aa_tree.tre_landusemap2014 = [cc_landuse].[classmap2014]
```

La instrucción SQL anterior también sirve para poder definir en qué tipo de uso o cobertura se ubica el árbol según el mapa forestal de 1995, mapa 2008 y mapa 2014; además, de establecer la categoría a la que pertenece según la clasificación de FAO y otras categorías de clasificación.

Una vez realizados los cálculos previos se puede proceder a calcular el número de árboles por hectárea. La cantidad de árboles por hectárea que representa cada uno de los árboles medidos se almacena en el campo *tre_treesperhectare* de la tabla *aa_tree*, es un campo de tipo doble y el cálculo corresponde a la siguiente instrucción SQL:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_treesperhectare = If([aa_tree].[tre_plottype]=1, If([aa_tree].[tre_dbh]>=20, 0.5, If([aa_tree].[tre_landuselevel1]="N101", 4.1667, 0.5)), If([aa_tree].[tre_dbh]>=20, 0.9615, If([aa_tree].[tre_landuselevel1]="N101", 6.25, 0.9615)))
```

De manera gráfica el cálculo de los árboles por hectárea se pueden ver en la figura 1, en dicho diagrama se pueden ver las variables que intervienen en el cálculo.

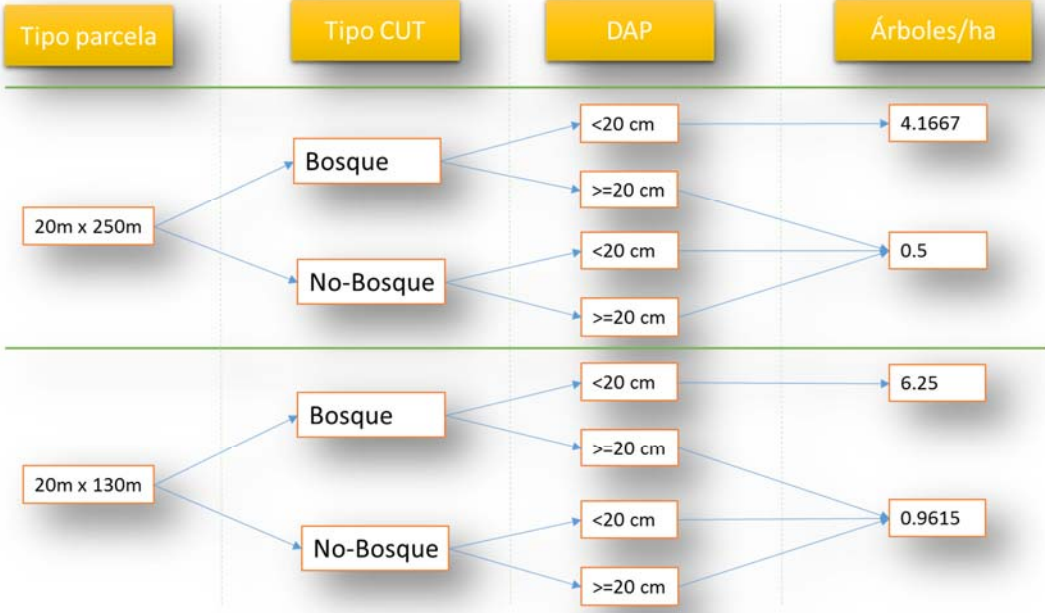


Figura 1. Proceso para el cálculo del número de árboles por hectárea.

2.2. Área basal

El área basal por hectárea que representa cada uno de los árboles medidos en campo se calcula mediante la fórmula:

$$G = \left(\frac{DAP}{100}\right)^2 * 0.7854 * N$$

Donde:

G=área basal en m²/ha

DAP=Diámetro a la Altura del Pecho o Diámetro de Referencia

N=Número de árboles por hectárea (calculados en sección anterior)

La instrucción SQL que ejecuta el SIBP2 es la siguiente:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_basalareaha = Round(((aa_tree].[tre_dbh]/100)^2*0.7854*
[aa_tree].[tre_treesperhectare],6)
```

2.3. Altura total y comercial

En el caso del INF de Honduras no es necesario hacer el cálculo de altura total y comercial mediante modelos de regresión ya que las alturas son medidas o estimadas directamente en campo para todos los árboles.

2.4. Volumen total y comercial del árbol

Para el cálculo del volumen total que cada uno de los árboles representa por hectárea se utilizan las fórmulas nacionales de volumen total; en el caso de coníferas se usan las desarrolladas por INFONAC (Inventario Nacional Forestal) y para las latifoliadas las desarrolladas por COHDEFOR-ACDI (Agencia Canadiense para la Cooperación Internacional). A continuación se presentan las ecuaciones para volumen total:

Coníferas volumen total	
<i>Pinus oocarpa</i>	0.00002838*D ² *H-0.00002308*D ² -0.00635 (Ec.1)
<i>Pinus caribaea var. hond</i>	
<i>Pinus maximinoi</i>	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	
<i>Pinus tecunumanii</i>	
<i>Pinus ayacahuite</i>	
Especies latifoliadas volumen total	
<i>Ceiba pentandra</i>	0.1416289196+4.36944*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H)-8.52212*10 ⁽⁻¹³⁾ *(D ² *H) ² (Ec.2)
<i>Pouteria izabelensis</i>	2.64261*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{1.073486} (Ec.3)
<i>Virola koschnyi</i>	3.17367*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{1.028854521} (Ec.4)
<i>Dialium guianense</i>	3.99495*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{1.039256484} (Ec.5)
<i>Brosimum alicastrum</i>	4.40524*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{1.016876336} (Ec.6)
<i>Swietenia macrophylla</i>	4.44909*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{1.005447155} (Ec.7)
<i>Vochysia hondurensis</i>	5.06922*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{0.977371702} (Ec.8)
<i>Quercus skinneri</i>	5.13625*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{1.004972} (Ec.9)

<i>Terminalia amazonia</i>	$5.6810 \cdot 10^{-5} \cdot (D^2 \cdot H)^{0.998463036}$ (Ec.10)
<i>Calophyllum brasiliense</i>	$6.43242 \cdot 10^{-5} \cdot (D^2 \cdot H)^{0.968922585}$ (Ec.11)
Otras Especies	$0.1083372662 + 4.6499 \cdot 10^{-5} \cdot (D^2 \cdot H) - 3.78846 \cdot 10^{-12} \cdot (D^2 \cdot H)^2$ (Ec.12)

El campo donde se almacena el volumen total en metros cúbicos por hectárea es **tre_volumeha**, es de tipo doble y el cálculo se hace con 6 posiciones decimales. La instrucción SQL para el cálculo es la siguiente:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_volumeha = Round(IIF(aa_tree.tre_volumeequation=12, (0.1083372662+4.6499*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))-3.78846*10^(-12)*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^2), IIF(aa_tree.tre_volumeequation=2,0.1416289196+4.36944*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))-8.52212*10^(-13)*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^2 ,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=3,2.64261*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^1.073486,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=4,3.17367*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^1.028854521,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=5,3.99495*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^1.039256484,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=6,4.40524*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^1.016876336,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=7,4.44909*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^1.005447155,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=8, 5.06922*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^0.977371702,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=9,5.13625*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^1.004972,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=10,5.6810*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^0.998463036,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=11,6.43242*10^(-5))*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^0.968922585,IIF(aa_tree.tre_volumeequation=1,0.00002838*(aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight)-0.00002308*(aa_tree.tre_dbh)^2-0.00635,0)))))) *aa_tree.tre_treesperhectare,6)
```

Para el cálculo del volumen comercial por hectárea que representa cada uno de los árboles se utilizan las fórmulas nacionales de volumen comercial, en el caso de coníferas se usan las desarrolladas por INFONAC a un índice de utilización de 15 cm en la punta y para las especies latifolidas se aplica un factor de 0.719 sobre el volumen total. La ecuación para las coníferas es la siguiente:

Coníferas volumen comercial (IU=15 cm)	
<i>Pinus oocarpa</i>	0.00002446*D ² *H+0.00007356*D ² -0.098205 (Ec.13)
<i>Pinus caribaea var. hond</i>	
<i>Pinus maximinoi</i>	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	
<i>Pinus tecunumanii</i>	
<i>Pinus ayacahuite</i>	

El campo en el cual se graba el volumen comercial es **tre_commercialvolumeha**, es de tipo doble y la instrucción SQL para el cálculo es la siguiente:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_commercialvolumeha= Round(IIF(aa_tree.tre_volumeequation=1, 0.00002446*(aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight)+0.00007356*(aa_tree.tre_dbh)^2-0.098205, aa_tree.tre_volumeha*0.719), 6)
```

2.5. Biomasa aérea

Para estimar la biomasa aérea de los árboles se utilizan los siguientes modelos generales de biomasa aérea:

$$(1) \text{ ba} = (0.11264421 * (\text{dap}^2 * h)^{0.85091168}) / 1000 \text{ [desarrollado por Dina Alberto, ESNACIFOR]}$$

$$(2) \text{ ba} = (0.0673 * (\rho * \text{dap}^2 * h)^{0.976}) / 1000 \text{ [desarrollado por Chave et al. (2014)]}^1$$

Donde:

ba = biomasa aérea, peso seco (toneladas/ha)

dap = Diámetro a la Altura del Pecho o diámetro de referencia (cm)

h = altura total del árbol (m)

ρ = densidad de la madera (g/cm³)

Para utilizar esta ecuación alométrica de biomasa aérea, se requiere el valor de la densidad de la madera. Para establecer la densidad de cada especie se utiliza la base de datos de DRYAD² como referencia. De esta base de datos se utilizaron solamente las especies de Centroamérica, México y la zona tropical de la América del Sur. Si la especie no tiene una referencia de densidad promedio, se utiliza el promedio del género; si no existen datos de género se usa el promedio de la familia; si ninguna de las anteriores es posible de obtener, se utiliza el promedio de todas las especies de las tres regiones antes mencionadas, correspondiente a 0.6277 g/cm³.

En los cálculos el primer campo que se debe asociar a los árboles es la densidad de la madera según la especie (campo ***tre_wooddensity***), dicho procedimiento se hace mediante la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE cs_treespecies INNER JOIN aa_tree ON cs_treespecies.tsp_code = aa_tree.tre_specie SET aa_tree.tre_wooddensity = Round([cs_treespecies].[tsp_wooddensityfinal],4)
```

A continuación en el procedimiento de cálculos se debe establecer el modelo de biomasa por aplicar en el cálculo, el campo que almacena el modelo de ecuación se graba en el campo ***tre_biomassequation*** y la instrucción SQL es la siguiente:

```
UPDATE cs_treespecies INNER JOIN aa_tree ON cs_treespecies.tsp_code = aa_tree.tre_specie SET aa_tree.tre_biomassequation = [cs_treespecies].[tsp_biomassequation]
```

Para el cálculo de la biomasa aérea en toneladas por hectárea se hace uso del campo ***tre_biomassha*** y la instrucción SQL es la siguiente:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_biomassha = Round(IIF(aa_tree.tre_biomassequation=1, (0.11264421*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight))^0.85091168)/1000,
```

¹ Chave et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* (2014) 20, 3177–3190.

² <http://datadryad.org/repo/handle/10255/dryad.235>

$(0.0673*((aa_tree.tre_dbh)^2*(aa_tree.tre_totalheight)*(aa_tree.tre_wooddensity))^{0.976}/1000)$
 $*aa_tree.tre_treesperhectare,6);$

2.6. Biomasa subterránea

La biomasa subterránea de los árboles se almacena en el campo ***tre_undergroundbiomass***, es un campo de doble precisión y que tiene como unidades toneladas por hectárea. Para el cálculo de la biomasa subterránea se utiliza como variable independiente la estimación de la biomasa aérea y para su cálculo se aplica el modelo de Cairns *et al.* (1997)³ para bosques tropicales.

$$bs = e^{[-1.0587+0.8836 \cdot \ln(ba)]}$$

Donde

bs = biomasa subterránea, peso seco (t/ha)

ba = biomasa aérea, peso seco (t/ha)

2.7. Carbono y CO₂ equivalente

Cada una de las especies en la base de datos tiene asociado un porcentaje de carbono, dicho porcentaje se aplica a cada uno de los árboles, el valor de la cantidad de carbono (porcentaje) se almacena en el campo ***tre_carbonpercentage***. La instrucción SQL para asignar el porcentaje de carbono en la tabla árboles es la siguiente:

```
UPDATE cs_treespecies INNER JOIN aa_tree ON cs_treespecies.tsp_code = aa_tree.tre_especie SET
aa_tree.tre_carbonpercentage = [cs_treespecies].[tsp_carbonpercentage]
```

Para obtener la cantidad de carbono se multiplica la biomasa por el contenido de carbono (%). La cantidad de CO₂ equivalente se obtiene multiplicando el contenido de carbono por la constante 3.67. A continuación se presentan las instrucciones SQL para el cálculo de carbono y CO₂ equivalente:

Carbono sobre el suelo:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_carbonha = Round([aa_tree].[tre_biomassha]*
[aa_tree].[tre_carbonpercentage]/100,6)
```

Carbono subterráneo:

³ Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. & Baumgardner, G.A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1): 1–11.

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_undergroundcarbon = Round([aa_tree].[tre_undergroundbiomass]*
[aa_tree].[tre_carbonpercentage]/100,6)
```

CO₂ sobre el suelo:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_co2ha = Round([aa_tree].[tre_biomassha]*
[aa_tree].[tre_carbonpercentage]/100*3.67,6)
```

CO₂ subterráneo:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_undergroundco2 = Round([aa_tree].[tre_undergroundbiomass]*
[aa_tree].[tre_carbonpercentage]/100*3.67,6)
```

3. Madera muerta caída

Los datos de madera muerta caída se almacenan en la tabla **aa_deadwood**, a continuación se describen los cálculos que se aplican a la tabla:

3.1. Cálculo del volumen

El volumen de cada pieza (campo **dwo_volumeha**) se realizará mediante la fórmula siguiente: $V=1.2337/L * D^2$, en este caso V es el volumen en m³/ha, L es el largo del transecto en metros y D es el diámetro de la pieza en centímetros. Para la madera menor que 10 cm de diámetro el largo del transecto es 10 metros y para la madera con diámetro mayor o igual que 10 cm el largo del transecto es de 20 metros. Sin embargo, el número de transectos depende del tamaño de parcela (**dwo_plottype**) que se use, en el caso de UM con parcelas de 20m x 250m se levantaron 3 transectos y cuando se levantaron parcelas de 20m x 130m se levantaron 2 transectos. A continuación se muestran las instrucciones SQL para determinar el tipo de parcela utilizado y para el cálculo del volumen por hectárea:

```
UPDATE aa_tract INNER JOIN aa_deadwood ON (aa_tract.tra_tractnumber = aa_deadwood.dwo_tractnumber) AND
(aa_tract.tra_measurementnumber = aa_deadwood.dwo_measurementnumber) AND (aa_tract.tra_inventorynumber =
aa_deadwood.dwo_inventorynumber) SET aa_deadwood.dwo_plottype = If([aa_tract].[tra_plotdesigntype]="01", 1, 2)
```

```
UPDATE aa_deadwood SET aa_deadwood.dwo_volumeha = Round(If([aa_deadwood].[dwo_plottype]=1,
1.2337/(12*[aa_deadwood].[dwo_transectlongitude])*([aa_deadwood].[dwo_diameter])^2*[aa_deadwood].[dwo_frequency],
1.2337/(8*[aa_deadwood].[dwo_transectlongitude])*([aa_deadwood].[dwo_diameter])^2*[aa_deadwood].[dwo_frequency]),6)
```

3.2. Densidad y contenido de carbono

Para las diferentes piezas de madera muerta caída se han establecido valores de densidad (**dwo_wooddensity**) y de contenido de carbono (**dwo_carbonpercentage**), para ello se tomará como base la categoría de descomposición de cada pieza, en la siguiente tabla se muestran los valores por cada categoría:

Categoría de descomposición	Densidad Kg/m3	Contenido de carbono (%)
01- Solido	0.63 (promedio especies)	50
02- Intermedio	0.40	40
03- Descompuesto	0.20	30
04-Desconocido/indeterminado	0.63	50

La asignación de la densidad de la madera para cada una de las piezas se hace mediante la siguiente instrucción SQL:

```
UPDATE cc_deadwoodcondition INNER JOIN aa_deadwood ON cc_deadwoodcondition.code = aa_deadwood.dwo_condition SET aa_deadwood.dwo_wooddensity = [cc_deadwoodcondition].[wooddensity]
```

La asignación del contenido de carbono en porcentaje para cada una de las piezas se hace mediante la siguiente instrucción SQL:

```
UPDATE cc_deadwoodcondition INNER JOIN aa_deadwood ON cc_deadwoodcondition.code = aa_deadwood.dwo_condition SET aa_deadwood.dwo_carbonpercentage = [cc_deadwoodcondition].[carbonpercentage]
```

3.3. Biomasa, carbono y CO₂

Para la estimación de la biomasa (**dwo_biomassha**) se multiplica el volumen por la densidad según el estado de descomposición. Para la estimación de carbono (t/ha) (**dwo_carbonha**) se multiplica la biomasa por el contenido de carbono y el cálculo del CO₂ (t/ha) (**dwo_co2ha**) se obtiene usando la constante 3.67 multiplicada por el la cantidad de carbono. A continuación se presentan las instrucciones SQL para realizar cada uno de los cálculos:

Biomasa:

```
UPDATE aa_deadwood SET aa_deadwood.dwo_biomassha = Round([aa_deadwood].[dwo_volumeha]*[aa_deadwood].[dwo_wooddensity],6)
```

Carbono:

```
UPDATE aa_deadwood SET aa_deadwood.dwo_carbonha = Round([aa_deadwood].[dwo_volumeha]*  
[aa_deadwood].[dwo_wooddensity]*[aa_deadwood].[dwo_carbonpercentage]/100,6)
```

CO₂ equivalente:

```
UPDATE aa_deadwood SET aa_deadwood.dwo_co2ha = Round([aa_deadwood].[dwo_volumeha]*  
[aa_deadwood].[dwo_wooddensity]*[aa_deadwood].[dwo_carbonpercentage]/100*3.67,6)
```

3.4. CUT y otros sistemas de clasificación

Con la finalidad de poder hacer cálculos a nivel de CUT y otros sistemas de clasificación del uso o cobertura de la tierra se hace necesario asignar a cada una de las piezas de madera muerta caída el tipo de CUT (código) en el cual se ubican. Para dicha asignación se hace uso de la tabla **aa_landusearea** y de la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusearea INNER JOIN aa_deadwood ON (aa_landusearea.lus_landusenumbr =  
aa_deadwood.dwo_landuse) AND (aa_landusearea.lus_plotnumber = aa_deadwood.dwo_plotnumber) AND  
(aa_landusearea.lus_tractnumber = aa_deadwood.dwo_tractnumber) AND (aa_landusearea.lus_measurementnumber =  
aa_deadwood.dwo_measurementnumber) AND (aa_landusearea.lus_inventorynumber =  
aa_deadwood.dwo_inventorynumber) SET aa_deadwood.dwo_landusecode = [aa_landusearea].[lus_landusecode]
```

Una vez asignados los CUT del inventario se procede a realizar el etiquetado de otros sistemas de clasificación mediante la siguiente instrucción:

```
UPDATE cc_landuse INNER JOIN aa_deadwood ON cc_landuse.code = aa_deadwood.dwo_landusecode SET  
aa_deadwood.dwo_landuselevel1 = [cc_landuse].[level1], aa_deadwood.dwo_landuselevel2 =  
[cc_landuse].[level2], aa_deadwood.dwo_landuselevel3 = [cc_landuse].[level3], aa_deadwood.dwo_landusefao =  
[cc_landuse].[classfao], aa_deadwood.dwo_landusemap1995 = [cc_landuse].[classmap1995],  
aa_deadwood.dwo_landusemap2009 = [cc_landuse].[classmap2009], aa_deadwood.dwo_landusemap2014 =  
[cc_landuse].[classmap2014]
```

4. Uso o cobertura de la tierra

La tabla que contiene los datos de las áreas de los CUT es **aa_landusearea**, en este caso se tiene el área por cada CUT según el sistema de clasificación del INF. A fin de poder calcular las áreas en función de otros sistemas de clasificación se incluye la siguiente instrucción SQL que permite establecer las equivalencias de códigos entre las etiquetas de los CUT del INF y otros sistemas:

5. Hojarasca

La información de hojarasca se maneja en la tabla **aa_litter**. Básicamente lo que se registra en la tabla de hojarasca es el peso húmedo (campo), peso seco (laboratorio) y contenido de carbono de la hojarasca (laboratorio); con estos valores es posible proyectar la biomasa, el carbono y el CO2 equivalente en toneladas por hectárea.

5.1. Tipo de parcela

Previo al cálculo de las variables de la hojarasca es importante definir qué tipo de parcelas se están usando en la UM; si son parcelas de 20m x 250m se tienen en total 12 puntos de muestreo de hojarasca y si son parcelas de 20m x 130m se tienen en total 8 puntos de muestreo de la hojarasca. Cada parcela de hojarasca tiene un área de 0.25 m² (0.5m x 0.5m). La instrucción SQL para determinar el tipo de parcela es la siguiente:

```
UPDATE aa_tract INNER JOIN aa_litter ON (aa_tract.tra_tractnumber = aa_litter.lit_tractnumber) AND (aa_tract.tra_measurementnumber = aa_litter.lit_measurementnumber) AND (aa_tract.tra_inventorynumber = aa_litter.lit_inventorynumber) SET aa_litter.lit_plottype = If([aa_tract].[tra_plotdesigntype]="01",1,2)
```

5.2. Biomasa hojarasca

La biomasa de la hojarasca (**lit_biomassha**) corresponde a su peso seco en toneladas por hectárea y la fórmula de cálculo es la siguiente:

Parcelas de 20m x 250m:

$$B=PS/1000000*10000/(0.25*12) \Rightarrow PS*0.003333$$

Parcelas de 20m x 130m:

$$B=PS/1000000*10000/(0.25*8) \Rightarrow PS*0.005$$

Donde:

B= biomasa en Tm/ha

PS= peso seco en gramos

La instrucción SQL para el cálculo de la biomasa es el siguiente:

```
UPDATE aa_litter SET aa_litter.lit_biomassha =Round(If([aa_litter].[lit_plottype]=1, [aa_litter].[lit_dryweight]*0.003333, [aa_litter].[lit_dryweight]*0.005),6)
```

5.3. Carbono y CO₂

Para la estimación de carbono (t/ha) se multiplica la biomasa por el contenido de carbono que se tiene en el laboratorio. El cálculo del CO₂ (t/ha) se obtiene usando la constante 3.67 multiplicada por el la cantidad de carbono. Las instrucciones SQL para los cálculos de carbono y CO₂ son las siguientes:

Carbono:

```
UPDATE aa_litter SET aa_litter.lit_carbonha = Round([aa_litter].[lit_biomassha]*[aa_litter].[lit_labcarbon]/100,6)
```

CO₂:

```
UPDATE aa_litter SET aa_litter.lit_co2ha = Round([aa_litter].[lit_biomassha]*[aa_litter].[lit_labcarbon]/100*3.67,6)
```

5.4. Clasificaciones equivalentes

Con el objetivo de poder hacer cálculos a nivel de CUT y otros sistemas de clasificación del uso o cobertura de la tierra se hace necesario asignar a cada una de las muestras de hojarasca el tipo de CUT (código) en el cual se ubican. Para dicha asignación se hace uso de la tabla **aa_landusearea** y de la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusearea INNER JOIN aa_litter ON (aa_landusearea.lus_landusenumbr = aa_litter.lit_landuse) AND  
(aa_landusearea.lus_plotnumber = aa_litter.lit_plotnumber) AND (aa_landusearea.lus_tractnumber = aa_litter.lit_tractnumber)  
AND (aa_landusearea.lus_measurementnumber = aa_litter.lit_measurementnumber) AND  
(aa_landusearea.lus_inventorynumber = aa_litter.lit_inventorynumber) SET aa_litter.lit_landusecode =  
[aa_landusearea].[lus_landusecode]
```

Una vez asignados los CUT del inventario se procede a realizar el etiquetado de otros sistemas de clasificación mediante la siguiente instrucción:

```
UPDATE cc_landuse INNER JOIN aa_litter ON cc_landuse.code = aa_litter.lit_landusecode SET  
aa_litter.lit_landuselevel1 = [cc_landuse].[level1], aa_litter.lit_landuselevel2 = [cc_landuse].[level2],  
aa_litter.lit_landuselevel3 = [cc_landuse].[level3], aa_litter.lit_landusefao = [cc_landuse].[classfao],  
aa_litter.lit_landusemap1995 = [cc_landuse].[classmap1995], aa_litter.lit_landusemap2009 =  
[cc_landuse].[classmap2009], aa_litter.lit_landusemap2014 = [cc_landuse].[classmap2014]
```

6. Regeneración

La tabla de que maneja los datos de regeneración se denomina **aa_regeneration**, la regeneración en campo es colectada con parcelas circulares de 50m² (radio=3.99m). Si la unidad de muestreo usa parcelas de 20m x 250 se tienen 12 parcelas de regeneración; en cambio si las parcelas son de 20m x 130m se tienen 8 parcelas de regeneración. En este caso es importante definir a nivel de regeneración el tipo de parcela que se usa, para ello se implementa la siguiente instrucción SQL:

```
UPDATE aa_tract INNER JOIN aa_regeneration ON (aa_tract.tra_tractnumber = aa_regeneration.reg_tractnumber) AND (aa_tract.tra_measurementnumber = aa_regeneration.reg_measurementnumber) AND (aa_tract.tra_inventorynumber = aa_regeneration.reg_inventorynumber) SET aa_regeneration.reg_plotttype = If([aa_tract].[tra_plotdesigntype]="01",1,2)
```

6.1. Regeneración por hectárea

La cantidad de plantas por hectárea para una determinada especie de regeneración se calcula usando la frecuencia por parcela por el factor de expansión; en el caso de las parcelas de 20m x 250m el factor de expansión es de 16.6667, mientras que para las parcelas de 20m x 130m el factor de expansión es de 25. La instrucción SQL para el cálculo de las plantas por hectárea es la siguiente:

```
UPDATE aa_regeneration SET aa_regeneration.reg_regenerationha = Round(If([aa_regeneration].[reg_plotttype]=1, [aa_regeneration].[reg_frequency]* 16.6667, [aa_regeneration].[reg_frequency]* 25),4);
```

6.2. CUT y Clasificaciones equivalentes

Con el objetivo de poder hacer cálculos a nivel de CUT y otros sistemas de clasificación del uso o cobertura de la tierra se hace necesario asignar a cada uno de los registros de regeneración el tipo de CUT (código) en el cual se ubican. Para dicha asignación se hace uso de la tabla **aa_landusearea** y de la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusearea INNER JOIN aa_regeneration ON (aa_landusearea.lus_landusenum = aa_regeneration.reg_landuse) AND (aa_landusearea.lus_plotnumber = aa_regeneration.reg_plotnumber) AND (aa_landusearea.lus_tractnumber = aa_regeneration.reg_tractnumber) AND (aa_landusearea.lus_measurementnumber = aa_regeneration.reg_measurementnumber) AND (aa_landusearea.lus_inventorynumber = aa_regeneration.reg_inventorynumber) SET aa_regeneration.reg_landusecode = [aa_landusearea].[lus_landusecode]
```

Una vez asignados los CUT que han sido usados en el inventario se procede a realizar el etiquetado de otros sistemas de clasificación mediante la siguiente instrucción:

```
UPDATE cc_landuse INNER JOIN aa_regeneration ON cc_landuse.code = aa_regeneration.reg_landusecode
SET aa_regeneration.reg_landuselevel1 = [cc_landuse].[level1], aa_regeneration.reg_landuselevel2 =
[cc_landuse].[level2], aa_regeneration.reg_landuselevel3 = [cc_landuse].[level3],
aa_regeneration.reg_landusefao = [cc_landuse].[classfao], aa_regeneration.reg_landusemap1995 =
[cc_landuse].[classmap1995], aa_regeneration.reg_landusemap2009 = [cc_landuse].[classmap2009],
aa_regeneration.reg_landusemap2014 = [cc_landuse].[classmap2014]
```

7. Tocones (madera muerta)

La tabla que maneja la información de tocones es **aa_stump**. En el inventario los tocones son colectados en toda el área de las parcelas por lo que la cantidad que representan por hectárea depende del tamaño de parcelas usado; si las parcelas son de 20m x 250m cada tocón representa 0.5 tocones por hectárea, en el caso de parcelas de 20m x 130m la cantidad de tocones por hectárea de cada tocón es 0.9615.

El tamaño de las parcelas usadas se ubica a nivel de UM, por lo que con la siguiente instrucción SQL se pasa el tipo de parcela a los tocones:

```
UPDATE aa_tract INNER JOIN aa_stump ON (aa_tract.tra_tractnumber = aa_stump.stu_tractnumber) AND
(aa_tract.tra_measurementnumber = aa_stump.stu_measurementnumber) AND (aa_tract.tra_inventorynumber =
aa_stump.stu_inventorynumber) SET aa_stump.stu_plottype = IIF([aa_tract].[tra_plotdesigntype]="01",1,2);
```

La cantidad de tocones por hectárea se calculan mediante la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_stump SET aa_stump.stu_stumpsha = IIF([aa_stump].[stu_plottype]=1,0.5,0.9615)
```

7.1. Volumen por hectárea

Para el cálculo del volumen de los tocones se hace uso de la fórmula de Smalian:

$$vtoc = \frac{[(d_1/100)^2 + (d_2/100)^2]}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot h$$

Donde

vtoc = volumen del tocón (m³)

*d*₁ y *d*₂ = diámetro menor y mayor del tocón (cm)

h = altura del tocón (m)

El volumen individual de cada uno de los tocones se multiplica por la cantidad de tocones por hectárea a fin de tener el valor en metros cúbicos por hectárea (**stu_volumeha**). La instrucción SQL para el cálculo del volumen es la siguiente:

```
UPDATE aa_stump SET aa_stump.stu_volumeha = Round(((([aa_stump].[stu_diameter1]/100)^2*0.7854) +
([aa_stump].[stu_diameter2]/100)^2*0.7854))/2*[aa_stump].[stu_height]*[aa_stump].[stu_stumpsha],6)
```

7.2. Densidad de la madera y contenido de carbono

A cada uno de los tocones inventariados se asigna un valor de densidad de madera y una fracción de carbono en función del tiempo en que el árbol fue cortado que se determina en campo, según indica la siguiente tabla:

Categoría de descomposición	Densidad g/cm ³	Fracción de carbono (%)
[0] No aplica	0.63 (promedio especies)	50
1) < de 1 año	0.63	40
[2] > de 1 año	0.50	30
3) No sabe	0.63	50
4) No definido	0.63	50

La instrucción SQL para la densidad de la madera es la siguiente:

```
UPDATE cc_stumpage INNER JOIN aa_stump ON cc_stumpage.code = aa_stump.stu_stumpage SET
aa_stump.stu_wooddensity = [cc_stumpage].[wooddensity]
```

La instrucción SQL para el contenido de carbono es la siguiente:

```
UPDATE cc_stumpage INNER JOIN aa_stump ON cc_stumpage.code = aa_stump.stu_stumpage SET
aa_stump.stu_carbonpercentage = [cc_stumpage].[carbonpercentage]
```

7.3. Biomasa, carbono y CO₂

Para la estimación de la biomasa del tocón se multiplica el volumen del tocón por la densidad de la madera. Para la estimación del carbono del tocón, se multiplica la biomasa por la fracción de carbono y para obtener la cantidad de CO₂ equivalente se multiplica el carbono por la constante 3.67. Las siguientes instrucciones SQL permiten realizar los cálculos antes mencionados:

Biomasa:

```
UPDATE aa_stump SET aa_stump.stu_biomassha = Round([aa_stump].[stu_volumeha]*
[aa_stump].[stu_wooddensity],6)
```

Carbono:

```
UPDATE aa_stump SET aa_stump.stu_carbonha = Round([aa_stump].[stu_volumeha]*  
[aa_stump].[stu_wooddensity]* [aa_stump].[stu_carbonpercentage]/100,6);
```

CO2:

```
UPDATE aa_stump SET aa_stump.stu_co2ha = Round([aa_stump].[stu_volumeha]*  
[aa_stump].[stu_wooddensity]* [aa_stump].[stu_carbonpercentage]/100*3.67,6)
```

7.4. CUT y Clasificaciones equivalentes

A fin de poder hacer cálculos a nivel de CUT y otros sistemas de clasificación del uso o cobertura de la tierra con la tabla de tocones se hace necesario asignar a cada uno de los registros el tipo de CUT (código) en el cual se ubican. Para dicha asignación se hace uso de la tabla **aa_landusearea** y de la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusearea INNER JOIN aa_stump ON (aa_landusearea.lus_landusenumbr = aa_stump.stu_landuse) AND  
(aa_landusearea.lus_plotnumber = aa_stump.stu_plotnumber) AND (aa_landusearea.lus_tractnumber =  
aa_stump.stu_tractnumber) AND (aa_landusearea.lus_measurementnumber = aa_stump.stu_measurementnumber) AND  
(aa_landusearea.lus_inventorynumber = aa_stump.stu_inventorynumber) SET aa_stump.stu_landusecode =  
[aa_landusearea].[lus_landusecode]
```

Una vez asignados los CUT del INF a cada tocón se procede a realizar el etiquetado de otros sistemas de clasificación mediante la siguiente instrucción:

```
UPDATE cc_landuse INNER JOIN aa_stump ON cc_landuse.code = aa_stump.stu_landusecode SET  
aa_stump.stu_landuselevel1 = [cc_landuse].[level1], aa_stump.stu_landuselevel2 = [cc_landuse].[level2],  
aa_stump.stu_landuselevel3 = [cc_landuse].[level3], aa_stump.stu_landusefao = [cc_landuse].[classfao],  
aa_stump.stu_landusemap1995 = [cc_landuse].[classmap1995], aa_stump.stu_landusemap2009 =  
[cc_landuse].[classmap2009], aa_stump.stu_landusemap2014 = [cc_landuse].[classmap2014]
```

8. Conclusiones y recomendaciones

- En SIBP2 es posible definir funciones para el volumen, biomasa y carbono a nivel de especies, dichas funciones se definen como cálculos predefinidos. Sin embargo, por la cantidad de datos que tiene el INF se ha decidido usar solamente instrucciones SQL que aceleran de manera significativa los cálculos.
- Se recomienda hacer una limpieza de los datos antes de proceder a realizar los cálculos y los análisis.
- En la tabla de árboles existen algunos registros que tienen como altura total el valor cero, en este caso se recomienda hacer una estimación de las alturas con modelos de regresión a fin de que dichos árboles tengan valores de biomasa y volumen.