



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

Servicio Forestal de Los Estados Unidos de Norteamérica Programas Internacionales

Implementación de procedimientos de cálculos en la base de datos del INF de Honduras en su tercera medición

<p><i>Preparado por:</i> Asdrúbal Calderón Amaya Consultor</p>	<p><i>Presentado a:</i> Betina Salgado, ICF Rachel Sheridan, USDAFS-IP</p>
--	--

Tegucigalpa, Honduras
Mayo, 2017

Contenido

Antecedentes	3
1. Introducción	3
2. Estimaciones a nivel de árbol.....	5
2.1. Árboles por hectárea	5
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
2.8. Uso de la tierra asociado	11
3. Madera muerta caída.....	12
3.1. Cálculo del volumen.....	12
3.2. Densidad y contenido de carbono	13
3.3. Biomasa, carbono y CO ₂	13
3.4. CUT y otros sistemas de clasificación	14
4. Uso o cobertura de la tierra.....	15
5. Hojarasca.....	15
5.1. Biomasa hojarasca	16
5.2. Carbono y CO ₂	17
6. Regeneración	18
6.1. Regeneración por hectárea.....	18
6.2. CUT y Clasificaciones equivalentes	18
7. Tocones (madera muerta)	19
7.1. Volumen por hectárea	19
7.2. Densidad de la madera y contenido de carbono.....	19
7.3. Biomasa, carbono y CO ₂	20
7.4. CUT y Clasificaciones equivalentes	20
8. Conclusiones y recomendaciones.....	22

Antecedentes

Durante el primer trimestre del año 2017 se diseñó la base de datos para manejar la información a coleccionar durante el trabajo de campo para el Inventario Nacional Forestal (INF) de Honduras en su tercera medición. Dicha base de datos fue desarrollada en la plataforma de MS Access, pero también se creó una versión en el sistema de bases de datos de SQLite, para hacer la colecta con la versión Android del Sistema de Inventarios Forestales en Bosques Públicos y Privados (SIBP2). El objetivo de la base de datos en MS Access es servir como la principal base de datos del INF, sobre la cual se compile la información de todas las Unidades de Muestreo, a fin que se haga la conexión de SIBP2 para generar los cálculos y los reportes.

La primera versión de la base de datos fue la 1.0, la cual se utilizó en el taller de Copán Ruinas (abril-2017) para hacer las primeras pruebas de colecta de datos en campo; luego del taller se realizaron cambios que se incorporaron en la versión 1.1. Sin embargo, se hace necesario incorporar cambios a la última versión para que se puedan ejecutar cálculos de variables, como por ejemplo el área basal, la biomasa, el carbono, etc. La nueva versión de la base de datos (1.2) contendrá los cambios de variables de cálculo, sin embargo, la versión móvil en SQLite 1.1 se podrá continuar usando para colecta de datos, ya que a nivel móvil la parte de cálculos no es considerada.

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, carbono, etc. para el inventario Nacional Forestal de Honduras en su tercera 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	Texto corto	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.
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

No.	Campo	Tipo y longitud	Descripción
			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 muerta 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. Además, las variables calculadas estarán disponibles en SIBP2 para hacer diferentes tipos de análisis.

2.1. Árboles por hectárea

En el diseño del inventario se utilizan unidades de muestreo de tres parcelas, los árboles con DAP mayor o igual que 10 cm y menor que 20 cm se miden en tres parcelas con radio de 6 metros; mientras que los árboles con DAP mayor o igual que 20 cm se miden en tres parcelas con un radio de 15 metros, la figura 1 muestra las parcelas en la Unidad de Muestreo en la cual se miden los diferentes tipos de árboles.

En el caso de los árboles con DAP mayor o igual que 20 cm el área en la cual se miden cubre un total de 2,120.58 metros cuadrados, lo que significa que cada árbol muestreado representa 4.7157 árboles por hectárea. En el caso de los árboles con DAP ≥ 10 cm y DAP < 20 cm el área es de 339.2928 metros cuadrados, en este caso cada árbol representa 29.4731 árboles por hectárea.

La instrucción SQL para el cálculo del número de árboles es la siguiente:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_treesperhectare = If([aa_tree].[tre_dbh]>=20,4.7157 ,29.4731)
```

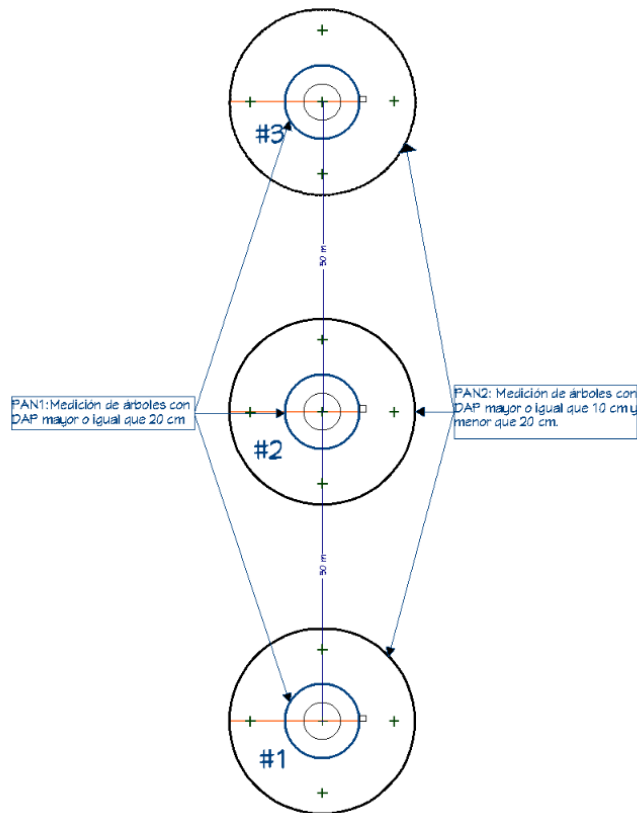


Figura 1. Parcelas en las cuales se miden los árboles

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 que representa cada árbol en la parcela 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. Sin embargo, se ha dejado el campo “*tre_estimatedtotalheight*” y “*tre_estimatedcommheight*” para almacenar dichas variables en caso de que se requieran cálculos a nivel del módulo de regresión de SIBP2.

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*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{0.998463036} (Ec.10)
<i>Calophyllum brasiliense</i>	6.43242*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H) ^{0.968922585} (Ec.11)
<i>Otras Especies</i>	0.1083372662+4.6499*10 ⁽⁻⁵⁾ *(D ² *H)-3.78846*10 ⁽⁻¹²⁾ *(D ² *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) $ba = (0.11264421 * (dap^2 * h) * 0.85091168) / 1000$ [desarrollado por Dina Alberto, ESNACIFOR]
- (2) $ba = (0.0673 \cdot (\rho * dap^2 * h)^{0.976}) / 1000$ [desarrollado por Chave et al. (2014)¹]

Donde:

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

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

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

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_specie 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:

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

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.

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)
```

2.8. Uso de la tierra asociado

Durante el trabajo de campo en cada una de las parcelas se toman 5 puntos de cobertura o uso de la tierra, denominados CUT, el primer punto se toma en el punto central de la parcela y los cuatro restantes se ubican a 11.6 metros desde el punto central en dirección norte, este, sur y oeste.

Para hacer diferentes tipos de cálculos por CUT es necesario hacer la asignación del CUT a cada uno de los árboles. La asignación se hace de acuerdo a la ubicación del árbol en la parcela, cada árbol cuenta con un azimut y una distancia desde el punto central de la parcela, conociendo dichos datos y la ubicación de los puntos de CUT se puede elaborar una “función de proximidad”, la cual asigna el número de punto más cercano a cada árbol. La figura 2 muestra los segmentos y áreas que forman las fronteras de cada uno de los puntos.

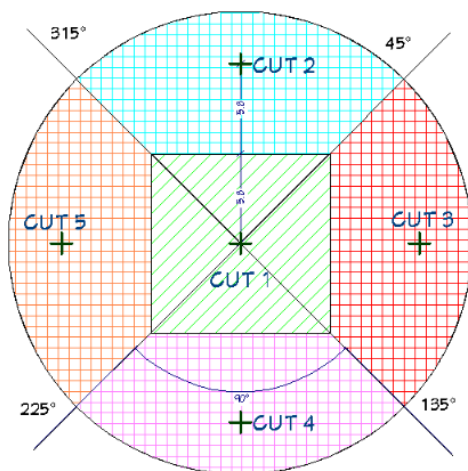


Figura 2. Zonas de proximidad de cada árbol según ubicación en la parcela

En la figura 2 se puede observar que un árbol que está ubicado en el cuadro del centro está más cerca del CUT 1, el cuadrado tiene dimensiones de 11.6 m x 11.6 m, ubicándose su

límite norte a la mitad de la ubicación desde el centro a la ubicación del CUT 2 y así sucesivamente con el CUT ubicado al este, sur y oeste. Los árboles que se ubican en el área con el entramado azul celeste están más próximos al CUT 2, ésta es un área delimitada por los azimut 315 y 45 grados; de similar manera se define la asociación de los árboles con los CUT 3, 4 y 5.

La expresión SQL para asignar el punto de CUT a cada árbol es la siguiente:

```
UPDATE aa_tree SET aa_tree.tre_landusepoint = If([aa_tree].[tre_azimut]>45 And [aa_tree].[tre_azimut]<=135 And Abs(Sin([aa_tree].[tre_azimut]*3.1416/180)*[aa_tree].[tre_distance])>5.8,3,If([aa_tree].[tre_azimut]>135 And [aa_tree].[tre_azimut]<=225 And Abs(Cos([aa_tree].[tre_azimut]*3.1416/180)*[aa_tree].[tre_distance])>5.8,4,If([aa_tree].[tre_azimut]>225 And [aa_tree].[tre_azimut]<=315 And Abs(Sin([aa_tree].[tre_azimut]*3.1416/180)*[aa_tree].[tre_distance])>5.8,5,If([aa_tree].[tre_azimut]>315 And [aa_tree].[tre_azimut]<=0 And Abs(Cos([aa_tree].[tre_azimut]*3.1416/180)*[aa_tree].[tre_distance])>5.8,2,If([aa_tree].[tre_azimut]>0 And [aa_tree].[tre_azimut]<=45 And Abs(Cos([aa_tree].[tre_azimut]*3.1416/180)*[aa_tree].[tre_distance])>5.8,2,1)))));
```

El código del CUT de cada uno de los árboles se asigna con la instrucción SQL siguiente:

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

Los niveles 1, 2 y clasificación de FAO de uso o cobertura de la tierra y que están vinculados a cada uno de los CUT se asignan de la forma siguiente:

```
UPDATE cc_landuseclasses INNER JOIN aa_tree ON cc_landuseclasses.code = aa_tree.tre_landusecode SET aa_tree.tre_landuselevel1 = [cc_landuseclasses].[level1], aa_tree.tre_landuselevel2 = [cc_landuseclasses].[level2], aa_tree.tre_landusefao = [cc_landuseclasses].[classfao];
```

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 5 metros y para la madera con diámetro mayor o igual que 10 cm el largo del transecto es de 21 metros. El número de transectos en cada Unidad de Muestreo es de 3. A continuación se muestran las instrucciones SQL para determinar el cálculo del volumen por hectárea:

```
UPDATE aa_deadwood SET aa_deadwood.dwo_volumeha = Round(If([aa_deadwood].[dwo_diameter]<10,
0.068539*([aa_deadwood].[dwo_diameter])^2, 0.019582* ([aa_deadwood].[dwo_diameter])^2),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 de madera muerta caída 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.

El primer paso antes de asignar el código del CUT es definir el punto de CUT al cual está más próxima la pieza de madera. Cada pieza de madera tiene asignada una distancia desde el punto de inicio que está en el borde este de la PAN 2 (6 metros dese del punto central). Partiendo de dicho punto de inicio las piezas que se ubiquen de 0 metros a menos de 0.2 metros del punto de inicio del transecto estarán asociadas al punto de CUT 3; las que estén de 0.2 metros a menos de 11.8 metros del punto de inicio, estarán asociadas al punto de CUT 1; y las que estén a 11.8 metros o más del punto de inicio estarán asociadas al punto de CUT 5. La instrucción SQL para hacer dicha asignación es la siguiente:

```
UPDATE aa_deadwood SET aa_deadwood.dwo_landusepoint = If([aa_deadwood].[dwo_transectdistance]<  
0.2,3, If([aa_deadwood].[dwo_transectdistance]>=11.8,5,1))
```

Una vez establecido el punto de CUT con el cual cada pieza está asociada se procede hacer la asignación del código del CUT, para dicha asignación se hace uso de la tabla **aa_landusepoint** y de la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusepoint INNER JOIN aa_deadwood ON (aa_landusepoint.lus_landusenum =  
aa_deadwood.dwo_landusepoint) AND (aa_landusepoint.lus_plotnumber = aa_deadwood.dwo_plotnumber) AND  
(aa_landusepoint.lus_tractnumber = aa_deadwood.dwo_tractnumber) AND  
(aa_landusepoint.lus_measurementnumber = aa_deadwood.dwo_measurementnumber) AND
```

```
(aa_landusepoint.lus_inventorynumber = aa_deadwood.dwo_inventorynumber) SET  
aa_deadwood.dwo_landusecode = [aa_landusepoint].[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_landuseclasses INNER JOIN aa_deadwood ON cc_landuseclasses.code =  
aa_deadwood.dwo_landusecode SET aa_deadwood.dwo_landuselevel1 = [cc_landuseclasses].[level1],  
aa_deadwood.dwo_landuselevel2 = [cc_landuseclasses].[level2], aa_deadwood.dwo_landusefao =  
[cc_landuseclasses].[classfao]
```

4. Uso o cobertura de la tierra

La tabla que contiene los datos de las áreas de los CUT es **aa_landusepoint**, en este caso cada parcela tiene 5 puntos de CUT, para un total de 15 puntos por UM; por lo tanto la proporción de área de cada punto es 1/15. Cada punto de CUT tiene asignado un CUT según el sistema de clasificación del INF. La instrucción SQL para asignar la proporción de área es la siguiente:

```
UPDATE aa_landusepoint SET aa_landusepoint.lus_areaproportion = 0.06666667
```

A fin de poder calcular las proporciones de 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:

```
UPDATE cc_landuseclasses INNER JOIN aa_landusepoint ON cc_landuseclasses.code =  
aa_landusepoint.lus_landusecode SET aa_landusepoint.lus_level1 = [cc_landuseclasses].[level1],  
aa_landusepoint.lus_level2 = [cc_landuseclasses].[level2], aa_landusepoint.lus_forestclassfao =  
[cc_landuseclasses].[classfao]
```

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. La hojarasca se colecta en campo en 1 metro cuadrado en cada parcela, lo que representa un total de 3 metros cuadrados por Unidad de Muestreo.

5.1. Biomasa hojarasca

La información colectada en campo corresponde al peso húmedo de la hojarasca, por lo que se requiere calcular su peso húmedo, para dicho cálculo se usa la condición de la hojarasca y los porcentajes de humedad siguientes:

Código	Condición humedad	Contenido de humedad (%)
1	Muy húmeda	85
2	Húmeda	65
3	Intermedia	50
4	Seca	35
5	Muy seca	15

La fórmula para calcular el peso seco es la siguiente:

$$Ps=Ph/(H/100+1)$$

Donde:

Ps=peso seco en gramos

Ph=peso húmedo en gramos

H=Porcentaje de humedad en %

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

$$B= (Ph/(H/100+1))/1000000*10000/(1*3) \Rightarrow Ph/(H/100+1) *0.003333$$

Donde:

B= biomasa en Tm/ha

Ph=peso húmedo en gramos

H=Porcentaje de humedad en %

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_moisture]='01',[aa_litter].[lit_moistweight]*0.001802,If([aa_litter].[lit_moisture]='02',[aa_litter].[lit_moistweight]*0.00202,If([aa_litter].[lit_moisture]='03',[aa_litter].[lit_moistweight]*0.002222,If([aa_litter].[lit_moisture]='04',[aa_litter].[lit_moistweight]*0.002469,[aa_litter].[lit_moistweight]*0.002898))))),6)
```


5.2. Carbono y CO₂

Para la estimación de carbono (t/ha) se multiplica la biomasa por el contenido de carbono que se tiene en función del estado de la hojarasca, la siguiente tabla muestra el contenido de carbono que se asigna a la hojarasca según condición:

Código	Estado de la hojarasca	Contenido de carbono (%)
1	Fresca, recién caída	35
2	Medianamente descompuesta	20
3	Descompuesta	10

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(If([aa_litter].[lit_littercondition]='01',[aa_litter].[lit_biomassha]*0.35,If([aa_litter].[lit_littercondition]='02',[aa_]  
litter].[lit_biomassha]*0.2,[aa_litter].[lit_biomassha]*0.1)),6)
```

CO₂:

```
UPDATE aa_litter SET aa_litter.lit_co2ha = Round([aa_litter].[lit_carbonha]*3.67,6)
```

5.3. 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_landusepoint**. En el caso de la hojarasca, el punto de CUT asociado es el número 3, ya que es el más próximo al lugar en el cual se muestrea hojarasca. La instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusepoint INNER JOIN aa_litter ON (aa_landusepoint.lus_plotnumber = aa_litter.lit_plotnumber)  
AND (aa_landusepoint.lus_tractnumber = aa_litter.lit_tractnumber) AND  
(aa_landusepoint.lus_measurementnumber = aa_litter.lit_measurementnumber) AND  
(aa_landusepoint.lus_inventorynumber = aa_litter.lit_inventorynumber) SET aa_litter.lit_landusecode =  
[aa_landusepoint].[lus_landusecode]  
WHERE (((aa_landusepoint.lus_landusenumbe)=3))
```

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

```
UPDATE cc_landuseclasses INNER JOIN aa_litter ON cc_landuseclasses.code = aa_litter.lit_landusecode SET
aa_litter.lit_landuselevel1 = [cc_landuseclasses].[level1], aa_litter.lit_landuselevel2 = [cc_landuseclasses].[level2],
aa_litter.lit_landusefao = [cc_landuseclasses].[classfao]
```

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 28.2744 m² (radio=3 metros). La unidad de muestreo tienen 3 parcelas de regeneración, lo que representa 84.8232 metros cuadrados y un factor de expansión a hectárea de 117.8923.

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 (117.8923). La instrucción SQL para el cálculo de las plantas por hectárea es la siguiente:

```
UPDATE aa_regeneration SET aa_regeneration.reg_regenerationha = Round(
[aa_regeneration].[reg_frequency]* 117.8923,4)
```

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 es 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_landusepoint**. En el caso de la regeneración el punto de CUT que está asociado es el número 1, la instrucción SQL para asignar el código de CUT es la siguiente:

```
UPDATE aa_regeneration INNER JOIN aa_landusepoint ON (aa_regeneration.reg_plotnumber =
aa_landusepoint.lus_plotnumber) AND (aa_regeneration.reg_tractnumber = aa_landusepoint.lus_tractnumber)
AND (aa_regeneration.reg_measurementnumber = aa_landusepoint.lus_measurementnumber) AND
(aa_regeneration.reg_inventorynumber = aa_landusepoint.lus_inventorynumber) SET
aa_regeneration.reg_landusecode = [aa_landusepoint].[lus_landusecode]
WHERE (((aa_landusepoint.lus_landusenum)=1))
```

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 SQL:

```
UPDATE cc_landuseclasses INNER JOIN aa_regeneration ON cc_landuseclasses.code =
aa_regeneration.reg_landusecode SET aa_regeneration.reg_landuselevel1 = [cc_landuseclasses].[level1],
```

aa_regeneration.reg_landuselevel2 = [cc_landuseclasses].[level2], aa_regeneration.reg_landusefao = [cc_landuseclasses].[classfao]

7. Tocones (madera muerta)

La tabla que maneja la información de tocones es **aa_stump**. En el inventario los tocones son colectados en la parcela PAN 2 que tiene un radio de 6 metros, por lo que la cantidad que representan por hectárea cada tocón es de 29.4731 tocones por hectárea. La cantidad de tocones por hectárea se calculan mediante la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_stump SET aa_stump.stu_stumpsha =29.4731
```

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)

d₁ y *d₂* = 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_diameterbottom]/100)^2*0.7854) + (((aa_stump).[stu_diametertop]/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 estado de descomposición que se determina en campo, según indica la siguiente tabla:

Categoría de descomposición	Densidad g/cm ³	Fracción de carbono (%)
Sólido	0.63	50
Intermedio	0.50	30

Descompuesto	0.20	20
--------------	------	----

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

```
UPDATE cc_stumpcondition INNER JOIN aa_stump ON cc_stumpcondition.code =
aa_stump.stu_stumpcondition SET aa_stump.stu_wooddensity = [cc_stumpcondition].[wooddensity]
```

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

```
UPDATE cc_stumpcondition INNER JOIN aa_stump ON cc_stumpcondition.code =
aa_stump.stu_stumpcondition SET aa_stump.stu_carbonpercentage = [cc_stumpcondition].[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_landusepoint** y de la instrucción SQL siguiente:

```
UPDATE aa_landusepoint INNER JOIN aa_stump ON (aa_landusepoint.lus_plotnumber =
aa_stump.stu_plotnumber) AND (aa_landusepoint.lus_tractnumber = aa_stump.stu_tractnumber) AND
(aa_landusepoint.lus_measurementnumber = aa_stump.stu_measurementnumber) AND
(aa_landusepoint.lus_inventorynumber = aa_stump.stu_inventorynumber) SET aa_stump.stu_landuse =
[aa_landusepoint].[lus_landusecode]
WHERE (((aa_landusepoint.lus_landusenum)=1))
```

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_landuseclasses INNER JOIN aa_stump ON cc_landuseclasses.code = aa_stump.stu_landusecode
SET aa_stump.stu_landuselevel1 = [cc_landuseclasses].[level1], aa_stump.stu_landuselevel2 =
[cc_landuseclasses].[level2], aa_stump.stu_landusefao = [cc_landuseclasses].[classfao]
```

8. Conclusiones y recomendaciones

- Es importante tener en cuenta las versiones de la base de datos, ya que puede darse el caso de que en una nueva versión se agreguen nuevos campos para colecta de datos. Sobre este aspecto las cuadrillas de campo deben usar la versión más actualizada de la base de datos.
- 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 podría manejar el INF se recomienda usar solamente instrucciones SQL que aceleran de manera significativa los cálculos.
- Una vez que se tengan datos en la base se recomienda hacer una limpieza de los mismos antes de proceder a realizar los cálculos y los análisis. Dicha limpieza de datos se puede realizar en función de un protocolo de limpieza de datos, desarrollado de manera puntual para el INF en su tercera medición.
- En el caso de los tocones se puede hacer el cálculo de la biomasa, el carbono y el CO₂ de las raíces. Sin embargo, se requiere modelar la biomasa, el carbono o el CO₂ sobre el suelo que tenía el árbol antes de ser cortado; para hacer dicho modelaje se requiere una relación DAP-diámetro tocón y una relación DAP-Altura. Una posibilidad es coleccionar suficiente información para construir las relaciones y luego hacer su aplicación para realizar el cálculo.