

Contabilización de Carbono

Maximiliane Jousse

Mayo 15 - 19 2023

Índice

1. Día 1	2
1.1. El carbono	2
1.1.1. Árboles y carbono	2
1.2. El mercado de carbono	2
1.2.1. Creditos de carbono	2
1.3. La calculadora de carbono	3
1.3.1. Página 1: Clave	3
1.3.2. Página 2: Árboles	3
1.3.3. Página 3: Estimación de Carbono	5
1.3.4. Página 4: Elegir Líneas	6
1.4. En el campo	6
1.4.1. Elegir los árboles	7
1.5. Desarrollar el protocolo	7
2. Día 2	7
2.1. En El Campo	7
2.1.1. Prueba del protocolo	7
2.1.2. Tomar imágenes de las diferentes especies de árboles	7
2.2. Practicar con la calculadora y la base de datos	7
2.3. Especies de árboles	8
2.4. Taller LibreOffice Calc: Relacionar Hojas	8
2.5. Poster	8
3. Día 3	8
3.1. LiDAR	8
3.1.1. ForestScanner	8
3.1.2. Usos posibles	11
3.1.3. Práctica	11
3.2. Terminar Guía y Poster	11
3.3. Resumen	12
4. Protocolo	12
4.1. Elegir los árboles	12
4.2. Asegurarse de tener el equipo de campo necesario	13
4.3. Ir a la primera línea escogida al azar	13
4.4. Medir los árboles de la línea	13
4.4.1. El Número de Identificación	13
4.4.2. Díametro al Pecho	13
4.4.3. La Especie	13
4.5. Hacer esto por cada línea escogida	13
4.6. Calcular el carbono	13
5. Documentos	14

Esta capacitación sirve para desarrollar un protocolo de medición de carbono en las parcelas de reforestación de Piriati. Vamos a:

1. Dar una visión general del mercado de carbono.
2. Explicar como medir el carbono utilizando la medida de DAP.
3. Aprender a usar el LiDAR móvil.
4. Desarrollar un protocolo de medición de carbono.
5. Poner a prueba este protocolo.

1. Día 1

1.1. El carbono

Nos interesa el carbono porque varias actividades humanas contribuyen a la contaminación de la atmósfera en forma de exceso de CO₂ (dióxido de carbono). Eso provoca el cambio climático; causa crisis ambientales, cambios en el clima, y la desaparición de los casquitos polares.

Una manera de solucionar esto es la captura de carbono, para sacarlo de la atmósfera. Los árboles hacen esto de manera natural, haciendo de ellos un recurso invaluable.

1.1.1. Árboles y carbono

- Los árboles capturan el carbono para crecer vía fotosíntesis.
- Los árboles empiezan a usar el carbono del aire cuando tienen hojas.
- Cuando se seca, aproximadamente la mitad del peso de un árbol es carbono!
- La absorción de carbono acelera a medida que el árbol crece.
- Los árboles más antiguos, capturan más carbono.

1.2. El mercado de carbono

- Leer el artículo del UNDP y discutir.
- Plataforma para la compensación de la huella de carbono del UN.

Varias instituciones, como la universidad de McGill, quieren compensar el carbono que se sitúa en la atmósfera. Es decir que buscan una manera de capturar una cantidad de carbono igual o mayor de lo que se produce. Con esta idea empezó el proyecto de reforestación de McGill en Ipeti y Piriati. El proyecto de McGill es un ejemplo de compensación de carbono; invierten en la reforestación de Ipeti y Piriati para compensar sus emisiones de dióxido de carbono .

El mercado de carbono ofrece una manera de tener una economía ecológica, a su vez permite la reforestación, la captura de carbono, y el crecimiento económico en las comunidades. Para vender el carbono que se captura, o para monitorear el carbono que se captura, es necesario poder medirlo.

1.2.1. Créditos de carbono

Un crédito de carbono es igual a una tonelada de dióxido de carbono. Según esa fuente (en inglés), en 2019 el costo promedio era 4,33 por tonelada. En 2020 el costo promedio era de 5,60 por tonelada y en 2021 de 4,73 por tonelada. El precio de un crédito de carbono cambia dependiendo de los que lo venden, del año, y de dónde proviene el crédito. Os recomiendo hacer su propia investigación del precio cuando quieren vender, y de usar la parcela de STRI en Ipeti como ejemplo.

1.3. La calculadora de carbono

Para calcular el carbono que contiene un árbol, se necesita: la biomasa del árbol y el porcentaje de la biomasa que es carbono (también se llama concentración de carbono). La literatura científica tiene medidas de concentración de carbono de varias especies.

El archivo *Calculadora de Carbono* tiene las ecuaciones necesarias para: 1) estimar la biomasa de un árbol desde la especie y el DAP, 2) estimar las toneladas de carbono y CO₂ que contiene el árbol, y 3) estimar las toneladas por hectárea de carbono y de CO₂ por cada parcela medida.

1.3.1. Página 1: Clave

Esta página contiene información sobre las especies que hay en las parcelas de reforestación. Las columnas son:

- El nombre común de las especies en español.
- El nombre Embera de las especies.
- El nombre científico de las especies.
- El tipo de árbol (angiospermas - planta con flores o conífera - no con flores). Se nota que todas las especies de Panamá son angiospermas.
- La densidad de la madera por cada especie en $\frac{g}{cm^3}$.
- La concentración de carbono por cada especie en $\frac{\% \text{Biomasa}}{100}$.

La densidad está basada en el artículo: *Chave, J. Coomes, D. Jansen, S. Lewis, S.L. Swenson, N.G. Zanne, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12(4): 351-366*. Si no hay información, se asume un valor de 0.560 g cm⁻³ para Centro América. La concentración de carbono está basado en *Thomas, S.C.; Martin, A.R. Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. Forests 2012, 3, 332-352. https://doi.org/10.3390/f3020332*. Si no hay información, se asume un valor de 47.1 % para angiospermas de Centro América.

Nombre Común	Nombre Embera	Nombre científico	Tipo	Densidad (g cm ⁻³)	Concentración de Carbono (%Biomasa/100)
Espavé	Espavé	<i>Anacardium excelsum</i>	Angiosperm	0.370	0.465
Zorro	Bosán	<i>Astronium graveolens</i>	Angiosperm	0.740	0.427
Cedro amargo	Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	Angiosperm	0.407	0.475
Cabimo	Cabimo	<i>Coparia aromatica</i>	Angiosperm	0.620	0.471
Cocobolo	Cocobolo	<i>Dalbergia retusa</i>	Angiosperm	0.860	0.435
Almendro de Montaña	Soyba	<i>Dipteryx oleifera</i>	Angiosperm	0.848	0.471
Guayacán	Guayacán	<i>Hamelia guayacan (ant. Tabebuia guyacan)</i>	Angiosperm	0.850	0.469
Otro/no identificado	Otro/no identificado	N/A	Angiosperm	0.560	0.471
Cedro espino	Cedro espino	<i>Pachira quinata</i>	Angiosperm	0.388	0.471
Quira	Quira	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Angiosperm	0.663	0.471
Caoba	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Angiosperm	0.500	0.470
Roble	Roble	<i>Tabebuia rosea</i>	Angiosperm	0.480	0.470
Amarillo	Amarillo	<i>Terminalia amazonia</i>	Angiosperm	0.639	0.493
Balsamo	Bidoquera	<i>Myroxylon balsamum</i>	Angiosperm	0.776	0.471
Nazareno	Nazareno	<i>Peltogyne parviflora</i>	Angiosperm	0.790	0.471

No es necesario cambiar los datos.

1.3.2. Página 2: Árboles

Esa página se usa para calcular la concentración de carbono para todos los árboles que se miden. Las columnas son:

- La parcela que miden.
- La ID del árbol (para distinguir los árboles que se miden).
- Diámetro a altura de pecho en cm.

- Estimación de altura del árbol en m

$$A = \frac{e^{5,401475} D^{0,646171}}{100}$$

A es altura, D es DAP.

Para el Roble, Espavé, y el Cedro Amargo, se calcula:

$$A_{\text{Roble}} = \frac{e^{5,5399} D^{0,5626}}{100}$$

$$A_{\text{Espavé}} = \frac{e^{5,4539} D^{0,6144}}{100}$$

$$A_{\text{Cedro Amargo}} = \frac{e^{5,1273} D^{0,8046}}{100}$$

[Las ecuaciones ya están en la página].

- Densidad (información de la página Clave)

- Biomasa en Kg

$$B = 0,0673 \times (\rho D^2 A)^{0,976}$$

B es biomasa , ρ es densidad (g cm^{-3}), D es DAP en (cm) y A es altura en m.

[Las ecuaciones ya están en la página].

- Biomasa en T

$$B_T = \frac{B_{Kg}}{1000}$$

[Las ecuaciones ya están en la página].

- Concentración de carbono por la especie (información de la página Clave)

- Concentración de carbono por el árbol en T

$$C = B_T \times C \%$$

C es concentración de carbono por árbol en T, B_T la biomasa en T, y C % la concentración de carbono por la especie en % biomasa $T/100$.

[Las ecuaciones ya están en la página].

- El equivalente de CO₂ en T.

$$CO_2 = \frac{C \times 44,01}{12,011}$$

C es concentración de carbono por árbol en T.

[Las ecuaciones ya están en la página].

- Observaciones del campo

Para calcular el carbono por cada árbol medido, se necesita entrar datos en las 4 primeras columnas: Parcela, ID, Especie y DAP.

1.3.3. Página 3: Estimación de Carbono

Esa página calcula una estimación de carbono y CO₂ por cada parcela medida. Las columnas son:

- La identificación de la parcela.
Eso puede ser un cifra (como se ve en el ejemplo), o un nombre. Lo único es que tiene que ser igual que el nombre de la parcela en la página 2: árboles.
 - La cantidad de árboles medidos
 - La cantidad de árboles en la parcela.
Eso puede ser una aproximación.
 - Porcentaje de árboles medidos.

$$\% = \frac{\text{Árboles medidos}}{\text{Árboles total}} \times 100$$

[Las ecuaciones ya están en la página]

- Suma de carbono medido en la parcela (T).

$$C_{\text{suma}} = \sum_{T}^{parcela} C_T$$

[Las ecuaciones ya están en la página]

- Suma de CO₂ medido en la parcela (T).

$$\text{CO}_{2,\text{suma}} = \sum_{\text{parcela}} \text{CO}_2$$

[Las ecuaciones ya están en la página]

- Estimación de carbono en T por hectárea. Se nota que cada parcela es un hectárea.

$$\text{Estimación}_C = \frac{C_{\text{suma}}}{\text{Árboles Medidos}} \times \text{Árboles total}$$

[Las ecuaciones ya están en la página]

- Estimación de CO₂ en T por hectárea. Se nota que cada parcela es un hectárea.

$$\text{Estimación}_{CO_2} = \frac{CO_{2,\text{suma}}}{\text{Árboles Medidos}} \times \text{Árboles total}$$

[Las ecuaciones ya están en la página]

Para calcular las estimaciones, es necesario entrar datos en las 2 primeras columnas: Parcela, y Árboles total.

1.3.4. Página 4: Elegir Líneas

Esa página elige al azar cuatro líneas del total de líneas de cada parcela. Tienen que introducir el nombre de la parcela, y la cantidad de líneas que hay en cada parcela. Se nota que cada vez que se guarda el documento los nombres cambian. Por eso es necesario anotar los nombres que informe la calculadora en las hojas que van a traer al campo para fixar las líneas que van a elegir. Las columnas son:

- Nombre de la parcela
 - Cantidad de líneas en la parcela
 - Las líneas elegidos al azar

Parcela	Cantidad de Lineas en la Parcela	Linea 1	Linea 2	Linea 3	Linea 4
Nombre-Apellido-1	32	13	30	29	22
bolivar-jaripio-1	25	8	16	3	11

Se nota que si en una parcela se repiten los cifras, (como en la cuarta fila del ejemplo arriba), se añade 1 al segundo número. Así la cuarta fila se convierte en:

línea 1	línea 2	línea 3	línea 4
13	14	15	19

Cuadro 1: líneas

Si se repite por una parcela el número que corresponde a la cantidad de líneas en esa parcela (en el ejemplo, 32), el nuevo número será 1.

1.4. En el campo

La medida de carbono se hace cada 5 años. Para tener una buena estimación de cada parcela, es necesario medir al menos 10 % de los árboles de cada parcela.

Empiezo	Fecha de Medida 1	Cantidad de parcelas	Mínimo de árboles a medir
2020	2025	10	1000
2021	2026	1	100
2022	2027	11	1100

Cuadro 2: Parcelas de Piriati

1.4.1. Elegir los árboles

Es importante de elegir bien los arboles que va a medir. Lo mejor es de elegirlos aleatoriamente. Una otra manera puede ser de elegir 10 árboles al azar en una linea, y cambiar de linea cada vez que miden.

Para evitar el sesgo (error), es importante de:

1. No elegir los mismos árboles cada vez que se miden.
2. Elegir los árboles sin sesgo (por ejemplo no elegir los árboles más grandes, más altos, etc.).
3. Elegir árboles en varias partes de la parcela.

1.5. Desarollar el protocolo

El protocolo es una lista de etapas necesarias para medir el carbono de una parcela. Tiene que contener las siguientes etapas:

1. Elegir los árboles
2. Medir los diametros
3. Calcular el carbono

Con los participantes de la capacitación, discutimos de las etapas a seguir, la preparación y las metodologías necesarias para cumplir esto. Ver **Protocolo** por el protocolo.

Parte de este protocolo es de hacer un guía para que los participantes pueden enseñar a los demás como identificar las diferentes especies de árboles. Ver **Documentos** por ese guía. Tambien se hacen un registro de campo (ver **Documentos**) y una base de datos (ver **Documentos**).

2. Día 2

2.1. En El Campo

2.1.1. Prueba del protocolo

Los participantes se dividen en grupos. Cada grupo tiene un registro de campo, y un DBH tape para medir los árboles. Se eligen 5 árboles al azar (por el protocolo), y se dan un número de identificacion (por el protocolo), se miden el diámetro al altura de pecho en cm (por el protocolo), y se identifican las especies.

2.1.2. Tomar imagenes de las diferentes especies de árboles

Para desarollar el guía, necessitamos a fotos de los árboles y sus hojas. Las imagenes se tomarán con el IPad en el campo.

2.2. Practicar con la calculadora y la base de datos

Despues del campo, introducimos los datos en la calculadora. Por eso trabajo tenemos un tecnico de computadora (que introduce los datos) y un verificador (que lee los datos). Ambos verifican los datos después.

Después, introducimos los resultados de la calculadora en la base de datos.

Eso se fue para prober el protocolo completo y discutir de cambios necesarios. El protocolo final es en **Protocolo**.

2.3. Especies de árboles

Con las imagenes, se hace un documento explicando como identificar cada especie con imagenes.
Ver **Docmumentos**

2.4. Taller LibreOffice Calc: Relacionar Hojas

Los participantes expresan su interes en aprender como funciona partes de la calculadora; a decir como relacionar hojas entre ellas. Abajo es un resumen:

Para relacionar celdas entre hojas, se usan la formula en la celda de la hoja que quieres relacionar:

$$= \text{nombreDeHoja.Celda}$$

El nombre de hoja, y la celda, es lo de donde saca la informacion.

Tenemos dos hojas, llamadas *Hoja1* y *Hoja2*. Por ejemplo, si hay el número *2* en la celda *A1* de la *Hoja1*, y quieren que apperece el contenido de esa celda en la celda *A2* de la *Hoja2*, hay que poner en la celda *A2* de la *Hoja2*:

$$= \text{Hoja1.A1}$$

2.5. Poster

Desarollamos un poster científico para explicar el proceso de medir carbono en Piriati y dar un resumen de los primeros días de la capacitación.

3. Día 3

3.1. LiDAR

LiDAR es una tecnologia que permite hacer escaneos del entorno y asi digitalizar el entorno. Hay varias formas de LiDAR, desde lo más complicados y caros que necesitan expertos para usarlo; así como el LiDAR movil (como lo que tenemos).

El LiDAR lanza infrarojos y mide el tiempo de retorno de esos láseres. Los láseres reflejan sobre los objetos del entorno y se detectan con un sensor. Cada láser que detecta el sensor es un punto. Con esto, se puede hacer una imagen en 3D del entorno, que se llama 'Point Cloud'. Tambien se combina con una camara, que coloriza los 'Point Cloud'.

3.1.1. ForestScanner

ForestScanner es una aplicación que permite al usuario de hacer escaneos con LiDAR. Lo bueno de esa aplicación es que se puede hacer un escaneo sin interrupción de más que un árbol, y puede hacer medidas de diámetro.

Usar esa aplicación móvil es muy sencillo. Lo más importante es practicar. Para hacer un escaneo, es importante:

- Hacer movimientos fluidos.
- No repasar adonde ya se ha escaneado.
- Hacer movimientos sinusoidales (ver 1)

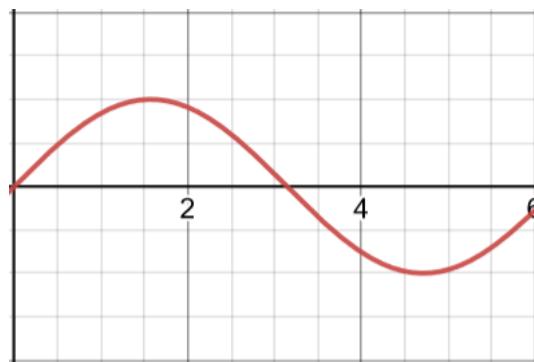


Figura 1: curva sinusoidal

- Cuando no se escanea un árbol, es importante que el IPad mira al suelo
Eso es en parte para no hacer los archivos demasiado grandes con más puntos, y para que se delimiten los árboles.
- Planificar su ruta

El enfoque del escaner es la cruz morada. En la pantalla de escaneo, se puede ver el desarrollo del escaner en la esquina superior derecha (3).

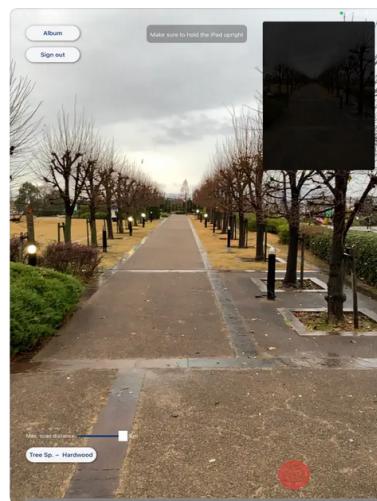


Figura 2: Inicio

Pantalla de inicio.

- Album: Carpeta de imágenes
- Tecla roja : para empezar un escaneo
Cuando empieza un escaneo, se necesita entrar un nombre de archivo.
- "Max escaneo distance": largo de escaneo, en m.



Figura 3: escaneo

Pantalla de escaneo. Vista de la cámara exterior del IPad.

- Pantalla en la esquina: vista del escaneo
- Tecla de pausa: pausa el escaneo
- Tecla de cuadrado: para el escaneo
- Tecla con árbol: mide el árbol
Se necesita suficientes puntos para hacer una medida. Se recomienda al menos la mitad del árbol medido.

Para hacer medidas, la aplicación encaja un círculo con los puntos. Usa este círculo para obtener un diámetro.



Figura 4: Resultado

Resultado del escaneo. Se puede ver el escaneo y las medidas. Se puede hacer más medidas tocando la pantalla. Puede hacer zoom y mover el escaneo.

List of single tree information						
Point	Number	Latitude (°)	Longitude (°)	Elevation (m)	Tree species	Dia
✓	1	34.8941299556507	105.387137402801	44.168210450098324	Hairwood	20.7
✓	2	34.89415433531	105.3871697938364	44.393571449197546	Hairwood	23.5
✓	3	34.89390099366295	105.3871427277786	43.9381275052021	Hairwood	23.3
✓	4	34.89393680593303	105.3871325757912	44.32064743510529	Hairwood	26.8
✓	5	34.89394958644876	105.387169772209	44.70965094701092	Hairwood	19.7

Figura 5: Lista de medidas

Lista de medidas. Latitud, Longitud de la medida. Elevación de la medida(m). Diametro (cm).

3.1.2. Usos posibles

- Medir DAP en el campo
- Archivar las plantaciones
- ... otro?

Se puede analizar las imagenes del LiDAR con CloudCompare. CloudCompare compara dos imágenes. Tambien se puede completar las imágenes con QSM (quantitative structure modelling). Ahora no existe open-source (gratuita) software para hacer esto.

3.1.3. Práctica

1. 1 árbol
2. 3 árboles sin interrupción
3. 3 árboles con pausa
4. 5 árboles como quieren
5. todos los árboles al lado de la communal en equipos de dos (una persona hace la ruta, la otra el LiDAR)

3.2. Terminar Guía y Poster

Ver Documentos por el guía.

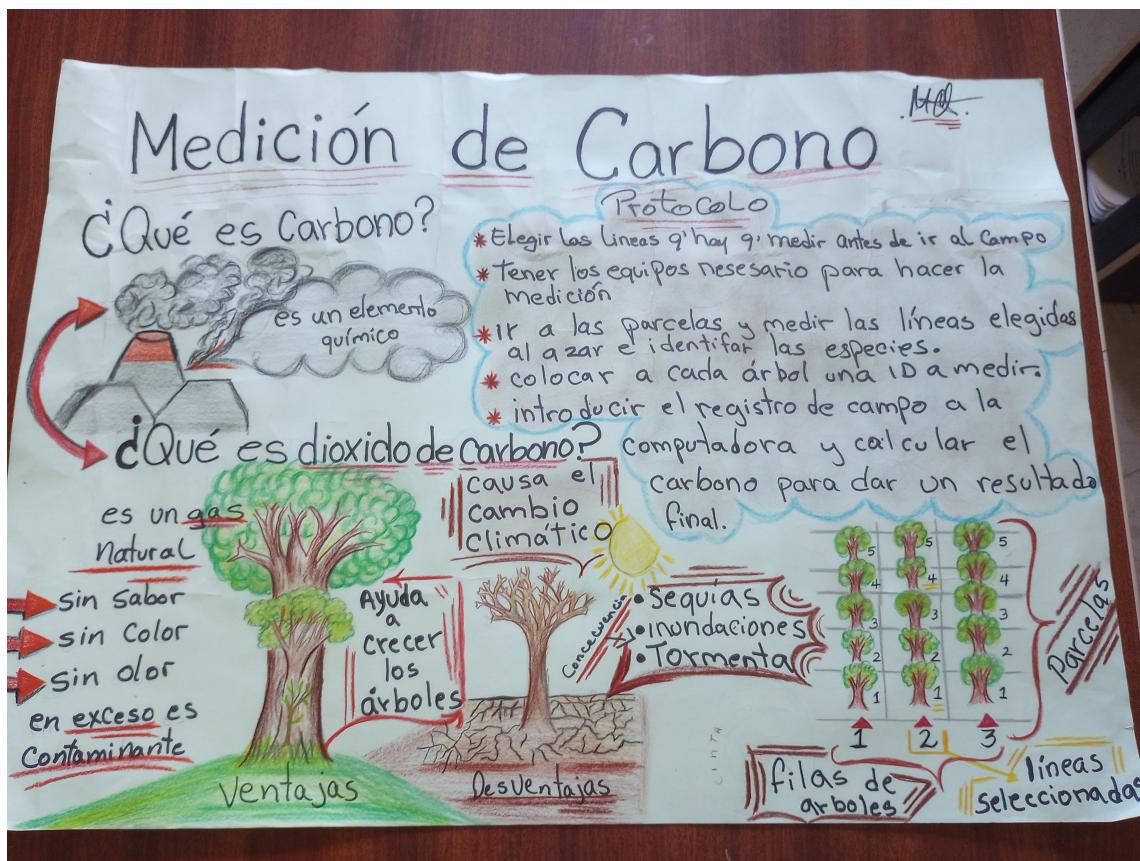


Figura 6: Poster - resumen de la capacitación

3.3. Resumen

- El mercado de carbono ofrece una alternativa posible de economía más ecológica.
- Es importante saber medir el carbono, sin confiar en empresas exteriores, para capacitar la gente a tener propiedad de su producto
- Para medir el carbono que capturan sus árboles, se puede usar el protocolo desarrollado durante esta capacitación
- El LiDAR es una tecnología nueva, que va a desarrollarse en el futuro

4. Protocolo

Nombres de Parcela

Cada parcela va a tener un nombre de identificación:

nombre-apellido-1

Todo en minúscula, con guiones. El nombre y apellido es lo del dueño/de la dueña. 1 corresponde al nombre de parcelas que el dueño/dueña tiene. Si el/ella tiene mas que una parcela, se llamarán nombre-apellido-1, nombre-apellido-2, etc.

4.1. Elegir los árboles

Cada parcela tiene más o menos 1000 árboles. Para tener una buena estimación es necesario medir al menos 10 %, es decir 100 árboles. Cada parcela tiene aproximadamente 32 líneas de árboles, y cada línea tiene aproximadamente 30 árboles. Entonces, por cada parcela, se eligen cuatro

líneas de árboles al azar, y se van a medir todos los árboles de las líneas. Para que se eligen al azar, se pueden utilizar la página Elegir Líneas (ver **Calculadora de Carbono**) de la calculadora.

Las líneas escogidas se notan después en el registro de campo.

4.2. Asegurarse de tener el equipo de campo necesario

- Registro de campo
- Bolígrafo/Lapiz
- DBH Tape (Cinta diamétrica)

4.3. Ir a la primera línea escogida al azar

4.4. Medir los árboles de la línea

Por cada árbol, es necesario obtener información sobre las siguientes cosas:

4.4.1. El Número de Identificación

Es necesario tener una manera de identificar cada árbol que miden. Por eso vamos a tener un número de identificación por cada árbol, compuesto del número de línea y del número del árbol. Por ejemplo, el primer arbol de la primer línea será:

1 – 1

Y el tercero árbol de la línea diecisiete será:

17 – 3

El número de identificación de cada árbol se escribe en el registro de campo.

4.4.2. Díámetro al Pecho

El diámetro al pecho es el diámetro en centímetros, medido a 1m30cm de altura. Se mide con un DBH tape - una cinta especializada que hace la conversión entre circunferencia y diámetro directamente. El diámetro al pecho de cada árbol se escribe en el registro de campo.

4.4.3. La Especie

Eso se puede identificar o con el saber de los participantes o con el guía que desarollamos (ver **Documentos**). La especie de cada árbol se escribe en el registro de campo.

4.5. Hacer esto por cada línea escogida

4.6. Calcular el carbono

Cuando regresan del campo con los datos, se entran en la calculadora de carbono (ver **Documentos**) en grupo de dos: un tecnico para entrar los datos y uno para leer y verificar los datos. Cuando terminan esto, repasan juntos los datos.

La calculadora de carbono calcula el carbono por parcela (en toneladas por hectárea) y el equivalente de dióxido de carbono (en toneladas por hectárea). Esos resultados se ponen en la base de datos (ver **Documentos**).

5. Documentos

- Calculadora de Carbono
Cada año que miden se puede hacer una copia con el año de medición en el nombre de fichero
 - Registro de Campo

Registro de campo					
Año:					
Técnico de campo:					
Parcela	ID	Árbol	DAP (cm)	especies	Observacion

Figura 7: Vista del registro de campo

- #### ■ Base de datos

Figura 8: Vista de la base de datos

- #### ■ Guía de árboles

- su corteza es liso simple
 - hoja larga
 - hoja de color verde limón
 - su color es pardo gris



Figura 9: Vista del guía de identificación