

error I ($F=240.44$ p -valor < 0.0001). De tal manera que el ángulo foliar varía con la edad a diferentes tasas para cada estrato.

En la Tabla 30 se muestran las estimaciones del modelo de la ecuación (11). Se observa que el ángulo foliar se incrementa significativamente con el tiempo en los tres estratos. En el estrato superior este incremento es de 2 grados por año.

Estadísticamente mediante la prueba de Duncan al 99% de confiabilidad se encontró también que el ángulo foliar medio en el estrato superior es en promedio 4° menor que en los otros. (Tabla 31).

Tabla 30. Estimaciones del modelo $af=A+B*edad$ para cada uno de los estratos de la copa en árboles de *P. patula*. Letra diferente significa que existe diferencia estadística al 99% entre las pendientes de los estratos.

Parametro	Estimado	ES	LI 99%	LS 99%	Grupos
A1	49.8293	0.7924	47.7875	51.8712	
A2	48.6649	0.7038	46.8513	50.4784	
A3	26.8945	0.7038	25.0809	28.708	
B1	0.2929	0.0877	0.067	0.5188	b
B2	0.3849	0.0594	0.232	0.5379	b
B3	2.0445	0.0594	1.8916	2.1975	a

Tabla 31 Separación de Duncan al 99% entre estratos del ángulo foliar medio. Letras diferentes indican diferencias entre los estratos.

Especie	Estrato	Promedio	Grupos
<i>E. pellita</i>	Inferior	43.7	c
	Medio	48.3	b
	Superior	57.9	a
<i>E. grandis</i>	Inferior	50.3	c
	Medio	54.5	b
	Superior	60.4	a
<i>C. alliodora</i>	Inferior	41.9	a
	Medio	38.5	b
	Superior	36.2	c
<i>A. acuminata</i>	Inferior	39.6	a
	Medio	37.8	a
	Superior	38.5	a
<i>P. quinata</i>	Inferior	38.4	a

	Medio	39.8	a
	Superior	39.5	a
<i>G. arbórea</i>	Inferior	46.3	b
	Medio	48.6	a
	Superior	47.8	a
<i>P. caribea</i>	Inferior	43.8	b
	Medio	44.7	b
	Superior	46.1	a
<i>P. Patula</i>	Inferior	52.1	a
	Medio	52.6	a
	Superior	47.9	b

Distribución de frecuencia de ángulos foliares en el dosel

En la Figura 42 se muestra el resultado del análisis de frecuencia de distribución de los ángulos foliares a través de los estratos de copa para las especies a validar:

- *E. pellita*

En esta especie, en el estrato superior predominan hojas erectófilas seguidas por plagiófilas, las planófilas solo se encuentran con una frecuencia del 8%. En los estratos medio e inferior predominan las hojas plagiófilas seguidas por las erectófilas encontrándose porcentajes de frecuencia muy similares entre estos dos tipos de arquitectura, el tipo planófilo en promedio no supera el 15% (Figura 42A). En general, en toda la planta predominan hojas erectófilas y plagiófilas. La tendencia erectófila de esta especie podría estar relacionada con el valor del coeficiente de extinción bajo que presenta la especie, ya que entre mayor sea el ángulo de inserción de las hojas, más luz pasa entre la corona y el suelo, lo cual sugiere que menos luz es interceptada por las hojas, sin embargo, a pesar de que se presentó menos interceptación de la radiación por este tipo de dosel, la planta pudo haber aprovechado eficientemente la cantidad de luz recibida. Estudios realizados por Gardner y otros en 1985 mostraron que cuando las hojas presentan ángulos verticales con respecto a la horizontal con una fuente de radiación vertical éstas interceptan el 26 % de la radiación que interceptan las hojas totalmente horizontales, debido a que la respuesta fotosintética es curvilínea y al ser la eficiencia mayor a niveles bajos de radiación, las hojas verticales son más eficientes por unidad de radiación interceptada, estos mismos estudios demostraron en trébol que cuando las hojas presentan un ángulo de 75° con respecto a la horizontal y están interceptando solamente el 26 % de la luz, la fotosíntesis foliar se reduce solamente el 21 % con respecto a las hojas horizontales.

- *E. grandis*

La Figura 42 B muestra para toda la planta una arquitectura tipo planófila en una frecuencia mayor al 60% con respecto a las erectófilas y plagiófilas las cuales no superan el 23% en ninguno de los tres estratos. Trenbath y Angus en 1975 clasificaron varios estudios que muestran cómo diferentes especies cultivadas se ajustan a distintos

patrones de inclinación; Una alta proporción de los cultivos estudiados fueron del tipo planófilo, ellos argumentaron que este comportamiento podía deberse a la selección previa para competir con el desarrollo de arvenses. Dentro de las ventajas que tienen las plantas con arquitectura planófila es que la interceptación día es mayor lo cual está directamente relacionado con una alta ganancia de carbono (Falster y Westoby, 2003). Sin embargo, este tipo de arquitectura en los estratos superiores de la planta reducen la absorción de luz hacia hojas inferiores. En teoría un dosel planófilo sería más eficiente si sus hojas en la parte superior fueran erectófilas, el patrón de hojas verticales en la parte superior y más horizontales en la parte inferior permite que las hojas superiores intercepten menos radiación y dejen pasar más luz hacia las hojas inferiores, logrando que la radiación sea distribuida más equitativamente sobre el total del área foliar. Se ha observado por ejemplo que los doseles de maíz con hojas con tendencia vertical arriba de la mazorca, pueden ser más productivos comparados con aquellos que sus hojas tienen una posición horizontal (Pendleton y Hammond, 1969).

- *C. alliodora*.

Presentó una arquitectura Planófila en el estrato superior, medio e inferior seguida por la arquitectura plagiófila en estos mismos estratos. En esta especie casi no se encontraron hojas con ángulos de inserción a la rama mayores a 60° (en promedio para todo el árbol 1.73 de frecuencia relativa para el erectófilo).

- *A. acuminata* y *P. quinata*

Mostraron una arquitectura muy similar entre ellas, además hubo similaridad entre estratos intra especie, cada estrato se caracterizó por tener una arquitectura predominantemente planófila seguida por plagiófila y erectófila.

Gardner y otros en el 2000 mencionan que en un dosel planófilo las hojas superiores están saturadas y las inferiores tienen reducida su fotosíntesis debido al autosombreamiento. Por otra parte Falster y Westoby en el 2003 en Australia al analizar 38 árboles de diferentes especies forestales, determinaron la influencia del tipo de ángulo foliar en la interceptación de la luz y en la fotosíntesis, ellos concluyeron que especies con arquitectura planófila tenían una mayor interceptación de luz y potencialmente una mayor ganancia de carbono, también observaron que hojas con ángulo de inserción erectófilo incrementan la captura de luz cuando el sol está en ángulos bajos en el cielo (amanecer y atardecer) mientras que la reducen a partir de ángulos altos (medio día). En las tres especies de este estudio, las hojas con ángulos mayores a 60°, son determinantes en la regulación de la temperatura dentro del mismo, King en 1997 demostró que las hojas erectófilas reducen las cargas de calor incrementando la eficiencia en el uso de agua y reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento por lo tanto disminuyendo la fotosensibilidad.

Lambers y otros en 1998 argumentaron que las hojas planófilas han evolucionado para maximizar la ganancia de carbono diaria a niveles de luz saturante ya que una curva de respuesta fotosintética a la luz estandar demostró que este tipo de hojas se saturan en ciertas intensidades lumínicas en las cuales las erectófilas no se alcanzan a saturar.

- *G. arborea*

Presenta en similares proporciones los tres tipos de ángulos foliares en sus estratos medio y superior y en el inferior predomina estadísticamente la arquitectura planófila-plagiófila.

- *P. caribea*

En el estrato superior presenta en similares proporciones los tres tipos de ángulos foliares. En los estratos medio e inferior predominan las planófilas y plagiófilas sobre las erectófilas y las diferencias entre tipos de inclinación de hojas no superan el 14%. Desde el punto de vista estadístico esta especie presenta todos los tipos de arquitectura foliar salvo en el estrato inferior en donde la proporción de hojas erectófilas es estadísticamente menor que las otras dos formas.

P. patula

En esta especie se observa una tendencia marcada de arquitectura planófila en toda la planta. La mayor frecuencia de ángulos de inserción de las acículas se encuentra en el rango de 0 a 30° con respecto a la horizontal, superando a las demás frecuencias hasta en 53, 48 y 59% para los estratos de copa superior, medio e inferior, respectivamente.

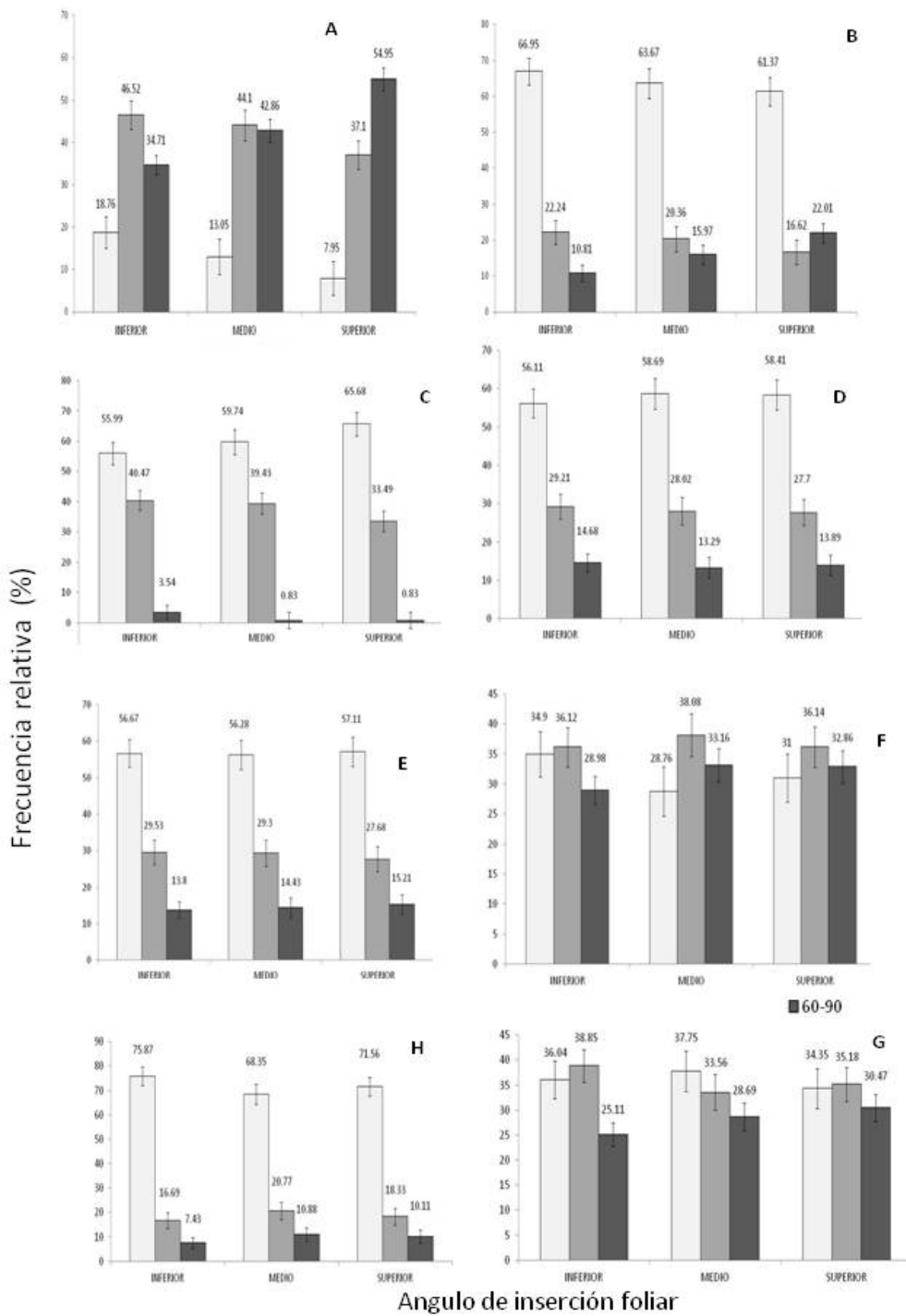


Figura 42. Distribución relativa de las frecuencias de ángulos de inclinación de hojas en cada uno de los estratos de copa en *E. pellita* (A), *E. grandis* (B), *C. alliodora* (C), *A. acuminata* (D), *P. quinata* (E), *G. arborea* (F), *P. caribae* (G) y *P. patula* (H).

A continuación se presentan imágenes del trabajo de campo en el municipio de Salento (Quindío) en la especie *Pinus patula*, mediciones de interceptación de radiación e intercambio gaseoso para la obtención de los parámetros a validar en la segunda versión del modelo CREFT.



Figura 43. Interceptación de la radiación e intercambio gaseoso en individuos de la especie *Pinus patula* en plantaciones comerciales en Salento (Quindío).



Figura 44. Mediciones de interceptación de radiación en arboles de *Pachira quinata*. Plantaciones Monterrey forestal Zambrano (Bolívar)

PROGRAMACIÓN COMPUTACIONAL DEL MODELO CREFT

Para el desarrollo del aplicativo computacional CREFT v 2.0 se ejecutaron una serie de actividades referentes al sistema computacional:

1. Análisis descriptivo de los requerimientos del sistema por parte de los líderes del proyecto.
2. Selección de herramientas técnicas (Software y Hardware) para la implementación del sistema.
3. Adquisición de herramientas para el desarrollo del sistema.
4. Desarrollo del sistema (ASP.net).
5. Migración de modelo de Visual Basic 6.0 a PL/PgSQL.

1. Análisis descriptivo de los requerimientos del sistema por parte de los líderes del proyecto.

- Recopilación de información referente al proyecto y los objetivos que se tienen con el desarrollo del mismo.
- Construcción de diagramas para la organización de la información recopilada con los líderes del proyecto.
- Diagrama de casos de uso.
- Diagrama de secuencias.
- Diagrama de actividades.
- Modelo Entidad – Relación. (MER)

2. Selección de herramientas técnicas (Software y Hardware) para la implementación del sistema.

Con base en los requerimientos obtenidos, fue necesario buscar las herramientas computacionales que más se adaptaran a las necesidades del proyecto.

El almacenamiento de información referente a usuarios del sistema, clima, estaciones climáticas, y ubicación geográfica se hace en una base de datos relacional desarrollada en PostgreSQL como sistema de gestión de base de datos.

Para la implementación de todos los modelos referentes al CREFT, se escogió PL/PgSQL, que se define como un lenguaje procedimental perteneciente a PostgreSQL. Este lenguaje se destaca por la rapidez en el procesamiento de datos y la precisión de cálculos numéricos.

El sistema de información se realiza en ASP.net (c#) y se usa para la implementación gráfica del CREFT. Mediante este sistema, el usuario puede interpretar los comportamientos que tienen las especies forestales en el tiempo, con base en los datos de clima tomados de la base de datos.

Para la implementación del sistema vía Web, fue necesario obtener dos servidores. Uno para la gestión de la aplicación y otro para la gestión de la base de datos. Los servidores deben mantener una conexión permanente entre sí.

El servidor que aloja la aplicación debe estar bajo Windows con IIS (Internet Information Server) como servidor Web:

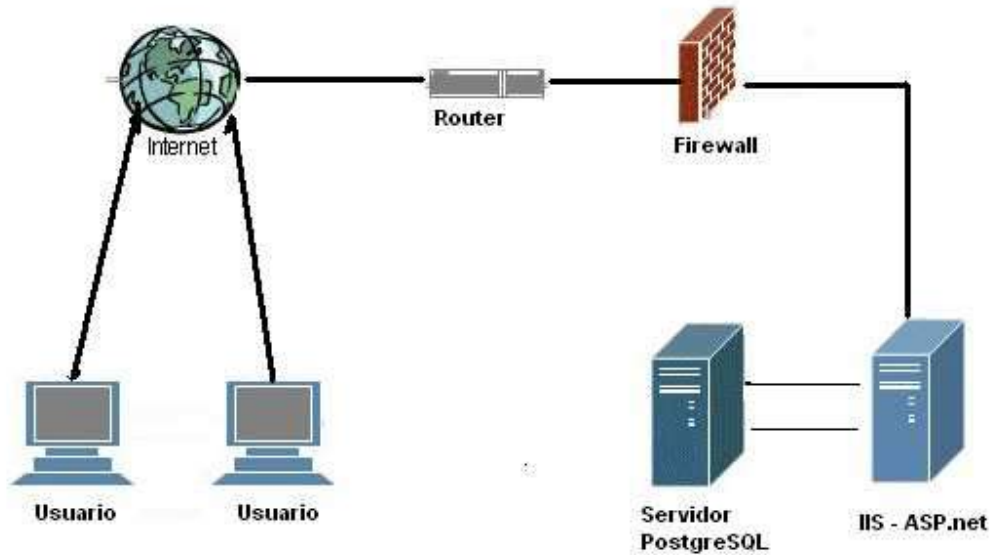


Figura 45. Esquema general del funcionamiento del sistema

3. Adquisición de herramientas para el desarrollo del sistema.

Se descargaron los siguientes paquetes de Software:

- Visual Studio 2008 Express Edition.
- PostgreSQL 8.4.
- Librerías requeridas para cifrado de datos y generación de reportes.

5. Desarrollo del sistema.

Modelo de simulación de crecimiento y captura de carbono en especies forestales del trópico CREFT ®

CREFT V2.0
Crecimiento de Especies Forestales en el Trópico

Usuario:

Contraseña:

[¿Olvidó su contraseña?](#)

Socios

- Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafe)
- SmartFit Kappa Carta de Colombia
- Reforestadora El Guacimo S.A
- Reforestadora del Caribe
- Reforestadora S.A.
- Pizano S.A
- Universidad Nacional de Colombia
- Fundación Ecológica Cafetera
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Modo de Uso

Para tener acceso al sistema, debe contactar con el Dr. Néstor M. Riaño (Director de Fisiología Vegetal) en Cenicafe.

Figura 46. Apariencia actual de la Página principal del modelo computacional

Es necesario tener un nombre de usuario y contraseña para acceder al sistema y poder correr el CREFT desde cualquier lugar del mundo, con tan solo una conexión a Internet.

Hay que tener en cuenta que es necesario tener un Súper usuario para administrar los usuarios comunes. Que pueda crear cuentas y asignar permisos de acuerdo a como sea establecido para los usuarios por ejemplo empresa x, universidad, ministerio, particular.



Figura 47. Panel de Administración de usuarios.

Se muestran las opciones que tiene el súper usuario para administrar los usuarios del sistema.



Figura 48. Esquema para la configuración de Nuevos Usuarios

Un súper usuario puede ingresar nuevos usuarios al sistema. Debe registrar datos de la empresa, tipo de usuario y fecha de expiración de la cuenta.



Figura 49. Activación y Desactivación de usuarios.

Un súper usuario puede activar o desactivar el funcionamiento de las cuentas para todos los usuarios registrados en el sistema.

Un súper usuario puede asignar permisos de las especies forestales al usuario seleccionado. De esta forma podrá utilizar dichas especies para correr el modelo. Un usuario puede tener entre 0 y n especies vegetales.

Después de seleccionar la especie forestal y la estación climática cercana al lugar de siembra de la especie, es posible calcular el comportamiento en el crecimiento de la especie y los kilogramos de carbono que ha retenido en todo el tiempo transcurrido.

Cuando el sistema termina de realizar todos los cálculos respectivos, genera un reporte en formato PDF para ser fácilmente descargado del servidor por el usuario.

6. Migración y organización de información del sistema anterior.

La migración de información desde el CREFT v.1.0, necesitó de varios procesos para llevarse a cabo.

- Migración de datos desde Access 97 a Microsoft Excel.
- Migración de Microsoft Excel a PostgreSQL.
- Migración de modelos hechos en Visual Basic 6.0 a PL/PgSQL.

Aspectos a destacar:

Se optó por utilizar PostgreSQL en conjunto con PL/PgSQL después de un riguroso estudio de la capacidad de las plataformas libres disponibles que cumplieran todas las necesidades del proyecto.

El manejo de arreglos dinámicos desde la base de datos, fue fundamental para elegir PostgreSQL. Si bien ASP.net maneja perfectamente este tipo de datos, para esta situación puede presentar desventajas en cuanto al rendimiento del sistema en el procesamiento de información.

Al tratarse de datos climáticos y su necesidad de extraer los datos diarios de clima, trabajar los arreglos dinámicos desde ASP.net implicaba aproximadamente 10000 viajes entre servidor Web y base de datos para procesar adecuadamente los datos. Por el contrario, desde PostgreSQL solo requiere un viaje al servidor, ya que todas las operaciones se realizan directamente en la base de datos y retorna en conjunto toda la información requerida.

Sin embargo, esto era una teoría sin comprobar, por lo que se decidió hacer un pequeño experimento de rendimiento entre ASP.net y PostgreSQL para el manejo de arreglos encontrándose que efectivamente PostgreSQL tardaba aproximadamente la décima parte del ASP.net

MODELO SE SIMULACIÓN CLIMÁTICA ANEXO AL CREFT – SimClim V.1.0

Características y esquema general de funcionamiento:

SimClim es una aplicación de escritorio para sistema operativo Windows 7 de 32 Bits construida con tecnología .NET, usando Net Framework 4 de Microsoft.

El objetivo principal de SimClim es simular datos faltantes en series climatológicas, específicamente observaciones de Precipitación, Brillo Solar, Temperaturas y Humedad Relativa basado en la construcción de cadenas markovianas de orden k con n estados, cuya secuencia es regida fundamentalmente por una condición temporal asociada a ENSO (oscilación del sur) y por un valor crítico para cada variable que define los estados de la misma.

SimClim recibe como entrada principal un archivo plano tabulado de extensión .txt, en el cual cada columna corresponde en su orden a: Nombre Estación, Código Estación, Año, Mes, Día, Variable_1,...Variable_N. Como condiciones generales para que el archivo de entrada tenga formato compatible con SimClim, deben tenerse en cuenta:

- a. Nombre Estación, Código Estación, Año, Mes, Día deben estar en ese orden. (Figura 50)
- b. El encabezado de los campos Año, Mes y Día debe ser: FANO, FMES, FDIA respectivamente.

- c. La variable que representa la precipitación debe encabezarse como PREC
- d. Siempre la primera fila del archivo corresponde a los encabezados.
- e. Las líneas restantes del archivo corresponden cada una a una fecha de registro de las variables.
- f. Los campos correspondientes a las variables siempre deben representar correctamente un valor numérico. El dato faltante se representa como un registro vacío (cadena de longitud cero). SimClim se ajusta automáticamente la configuración de separador decimal del equipo en que se ejecuta (“.” ó “,”)

ESTACION	FANO	FMES	FDIA	PREC	BSOL	TMAX	TMIN	TMED	HRMED
Cualquiera	37153839	1976	1	1					
Cualquiera	37153839	1976	1	2					
Cualquiera	37153839	1976	1	3					
Cualquiera	37153839	1976	1	4					
Cualquiera	37153839	1976	1	5					

Figura 50. Formato único de entrada de datos para ejecutar SimClim

Como parámetros de ejecución SimClim requiere:

- a. Tabla ENSO cuyo periodo actualizado concuerde con el periodo de la serie procesada. La tabla ENSO está contenida en el archivo ENSO.clm, el cual puede modificarse con un editor de archivos de texto. ENSO.clm debe estar en la misma carpeta de SimClim.exe. (Figura 51)

Changes to the Oceanic Niño Index (ONI)
[Link to Previous Version of ONI \(ERSST.v3\)](#)

DESCRIPTION: Warm (red) and cold (blue) episodes based on a threshold of +/- 0.5°C for the Oceanic Niño Index (ONI) [3 month running mean of ERSST.v3b SST anomalies in the Niño 3.4 region (5°N-5°S, 120°-170°W)], based on the 1971-2000 base period. For historical purposes cold and warm episodes (blue and red colored numbers) are defined when the threshold is met for a minimum of 5 consecutive over-lapping seasons.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.7	-1.5	-1.3	-1.4	-1.3	-1.1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0
1951	-1.0	-0.9	-0.6	-0.3	-0.2	0.2	0.4	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6
1952	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0
1953	0.2	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
1954	0.5	0.3	-0.1	-0.5	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.2	-1.1	-1.1	-1.1
1955	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.4	-1.8	-2.0	-1.9
1956	-1.3	-0.9	-0.7	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.8
1957	-0.5	-0.1	0.3	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.2	1.5
1958	1.7	1.5	1.2	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4

Figura 51. Tabla ENSO obtenida en la página de la noaa <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

- b. Estados de cada variable representado por una cadena de la forma $E_1/E_2/.../E_n$, en la cual E_m es una cadena mono-caracter que representa un estado de la variable. E_1 representa el estado más bajo y E_n el estado más alto. Por ejemplo, si la variable tiene 3 estados, uno bajo, uno medio y otro alto, sus estados se representan B/M/A.
- c. Tipo de límite de cada variable, que indica si se usará como valor crítico una constante o un percentil determinado. La constante se representa como un número cualquiera y el percentil como un número p tal que $0 \leq p \leq 1$.
- d. Valores críticos para cada estado representados por una cadena de la forma $V_1/V_2/.../V_{n-1}$, en la cual n es el número de estados y V_m es el valor crítico que representa el límite superior del estado E_m . El límite superior del estado más alto (E_n) no se incluye en esta cadena, puesto que su intervalo se ajusta por defecto como cualquier valor por encima del límite superior del estado E_{n-1} . Por ejemplo, si la variable tiene 3 estados, B/M/A, sus valores críticos se representan 3/5 si el límite es de tipo constante, o 0.2/ 0.4 si el límite es de tipo percentil. Los valores aquí usados solo se muestran como ejemplo. Cada variable, de acuerdo a su naturaleza o criterio del experto puede tener valores críticos distintos.
- e. Orden de la cadena, representado por un número entero $k \geq 2$.

Los parámetros *b*, *c*, *d* y *e* se ajustan en la sección 'Configuración' de la ventana 'Datos' de SimClim. (Figura 52)

Non Variable	Tipo Limite	Estados Posibles	Val Limite	Orden
PREC	Constante	B/A	1	2
BSOL	Percentil	B/A	0.3	2
TMAX	Percentil	B/A	0.3	2
TMIN	Percentil	B/A	0.3	2
TMED	Percentil	B/A	0.3	2
HRINED	Percentil	B/A	0.3	2

Figura 52. Apariencia de la Ventana 'Configuración' de SimClim.

El procedimiento de análisis y simulación de las variables se ejecuta de la siguiente manera:

- a. Para cada registro de cada variable se asigna una condición Niña (-1), Neutro (0), Niño (1), según la fecha de registro de acuerdo a la tabla ENSO.
- b. Se calculan los momentos de la serie de datos completa
- c. Para cada registro de cada variable se asigna un estado según los valores críticos asociados a la variable.
- d. Se calculan los momentos agrupando los registros de cada variable según condición, mes y estado.
- e. Se generan las tablas de transición para cada variable según la secuencia de la cadena markoviana. Las tablas de transición se agrupan en cada variable por mes y por condición, es decir resultan 36 tablas por cada variable. (12 meses x 3 condiciones)
- f. Se simula un posible estado para los datos faltantes de la serie de acuerdo con las tablas de transición. En este punto se evalúa si el estado generado cumple:
 - a. Tener una probabilidad de ocurrencia definida y mayor que cero
 - b. Al combinarse a orden k con sus estados precedentes y consecuentes, genera una cadena que tiene probabilidad de ocurrencia definida y mayor que cero. (si una de estas dos condiciones no se cumple, el estado se genera nuevamente hasta que se logre congruencia.)
- g. Se simulan los datos faltantes teniendo en cuenta la distribución teórica de la variable, el estado simulado, y los momentos de la variable según condición, mes y estado. Los valores simulados son evaluados y se consideran validos si se cumple que $y_{\min} \leq y_{\text{sim}} \leq y_{\max}$, donde y_{\min} y y_{\max} definen el rango observado de la variable para el estado E . Si no se cumple la condición, el dato es simulado nuevamente hasta lograr ajuste al rango.

Finalmente SimClim entrega como salida una tabla con los datos observados y simulados, bien diferenciados (Figura 53), y un gráfico dinámico el cual contrasta los datos observados y simulados según la variable y periodo seleccionados. La tabla puede copiarse en el portapapeles en un formato compatible con Ms Excel y el gráfico (Figura 55) puede guardarse en formato .bmp de alta calidad.

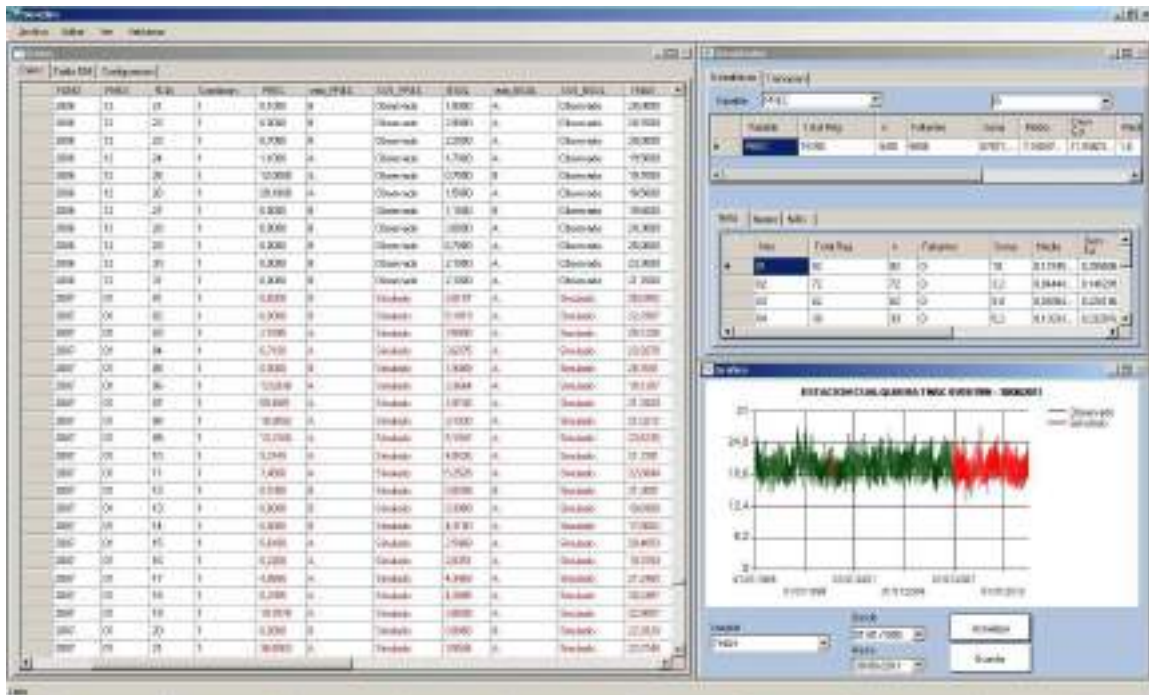


Figura 53. Salida general de resultados, se presentan los datos diarios observados y simulados tabulación estadística y gráfico.

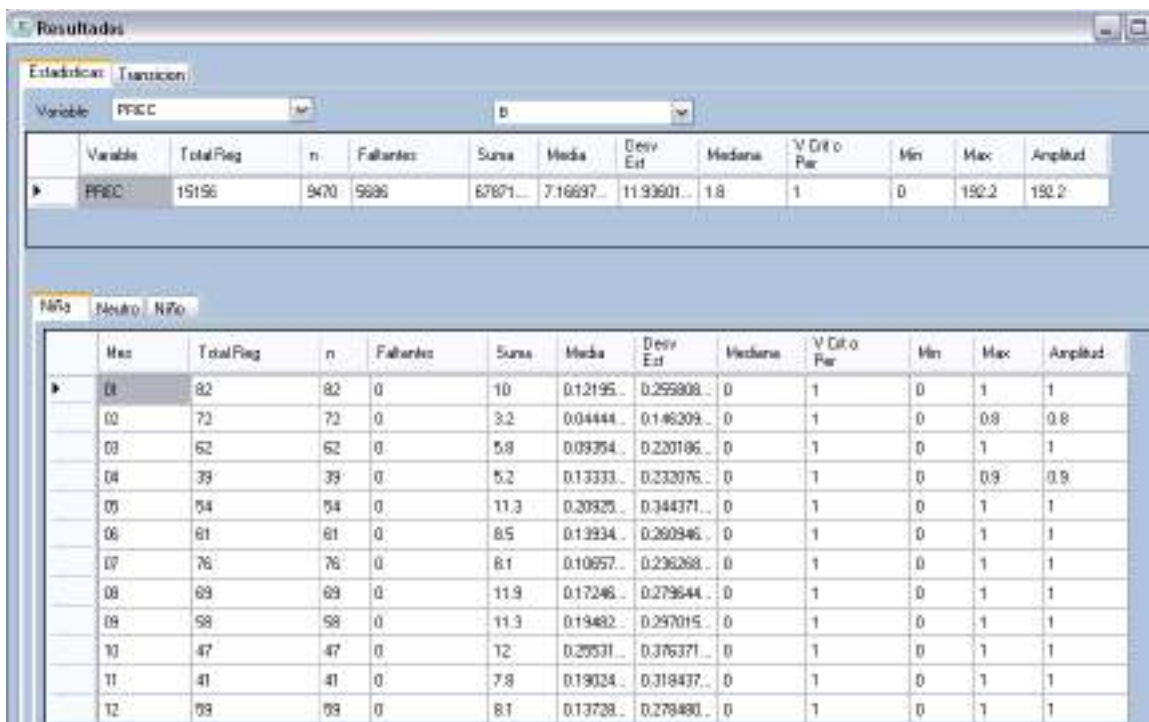


Figura 54. Detalle de la salida tabular en donde se muestra la estadística univariada para cada variable (general y discriminada por condición)

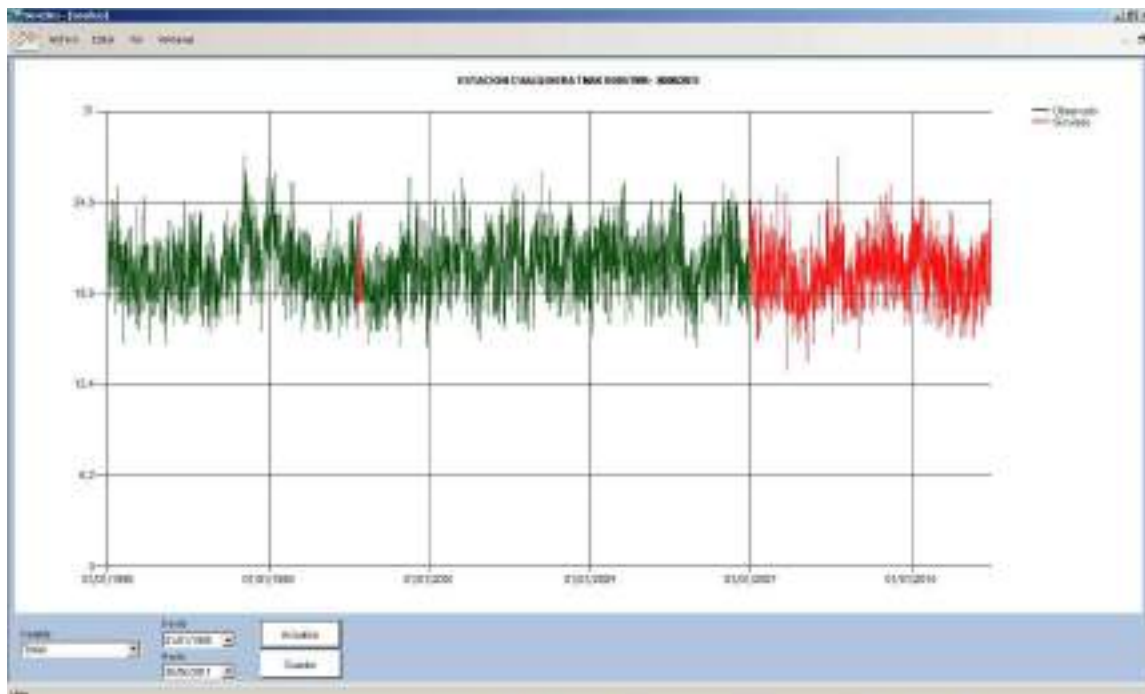


Figura 55. Apariencia de la salida gráfica de los datos observados y simulados diarios de las variables climáticas con el software.

Resultados

Estadísticas **Transicion**

Mes: ENE Variable Actual: PREC

Probabilidades Totales

Niña **Neutro** Niño

	Cadena	B	A
▶	BB	0.698113207547...	0.301886792452...
	BA	0.185185185185...	0.814814814814...
	AB	0.592592592592...	0.407407407407...
	AA	0.285714285714...	0.714285714285...

Figura 56. Detalle de la salida tabular en donde se muestra la matriz de transición de estados altos a bajos por cada condición

FUNCIONAMIENTO DE LA ALIANZA

PARTICIPACION EN EL PROYECTO Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR CADA UNO DE LOS MIEMBROS DE LA ALIANZA

Durante el periodo de ejecución del proyecto la alianza entre las entidades del sector productivo, académico y de investigación funcionó de manera adecuada en un ambiente de cooperación y entendimiento, las empresas reforestadoras cumplieron en su totalidad con los compromisos adquiridos de facilitación de recursos humanos, económicos, logísticos y técnicos, lo anterior favoreció el buen desempeño de la alianza en la consecución de los objetivos del proyecto, de la misma manera, el personal técnico de las compañías participó frecuentemente en la retroalimentación para el diseño y uso del modelo.

- **Cartón de Colombia S.A.** Con ésta compañía desde el departamento de investigación forestal en cabeza del doctor Byron Urrego se realizaron los trabajos de campo para las especies *Pinus tecunumanii*, *Eucalyptus grandis* y parte del trabajo en *Pinus patula*, la compañía dispuso de tiempo completo al ingeniero de sistemas Daniel Orozco para la programación del modelo CREFT, apoyó todo del trabajo de mediciones de biomasa en la especie *Pinus tecunumanii* realizado por la estudiante de agronomía Tatiana Saldaña en las plantaciones de la empresa ubicadas en los departamentos de Cauca, Valle, Risaralda, Quindío y Caldas, igualmente apoyó el trabajo de medición de intercambio gaseoso en árboles, se contó con la valiosa colaboración del doctor Jose Fernando Giraldo para la creación del programa complemento de simulación de datos faltantes de clima (SimClim) adicionalmente Marcela Zapata y Juan Carlos Obando colaboraron ampliamente para el desarrollo de las diferentes mediciones realizadas varios representantes de la empresa participaron activamente en el taller programado de avances y uso del modelo en la ciudad de Villanueva (Casanare).
- **Federación Nacional de Cafeteros de Colombia - Centro Nacional de Investigaciones de Café – CENICAFÉ.** Como ejecutor del proyecto desde aquí se articuló todo el trabajo de medición en campo análisis de laboratorio, análisis de datos y resultados, estuvieron vinculados temporalmente cinco estudiantes de pregrado de las carreras de ingeniería agronómica y forestal de las universidades Nacional, Córdoba y Nariño los cuales dirigieron el trabajo técnico de toma de datos en campo en las diferentes especies: Tatiana Saldaña, Sandra Zea, Darcy Padilla, Carlos Andrés Herrera y Diego Fabián Salas, adicionalmente se contrató al técnico Hernando Guillén para apoyar el trabajo en las especies ubicadas en la zona norte del país. El trabajo en general fue coordinado por el doctor Néstor Miguel Riaño en colaboración del ingeniero forestal Diego Obando, el apoyo en el análisis de datos se realizó con el doctor Héctor Alberto Chica, la toma de información instrumental la coordinó la ingeniera agrónoma Ángela María Castaño mientras que el procesamiento de muestras y análisis de laboratorio fue coordinado por Anderson Aguirre, Martha Bibiana Escobar y Faber De Los Ríos.

- **Fundación Ecológica Cafetera.** En cabeza del doctor Mauricio Herrera Vallejo apoyó el trabajo en la especie forestal *Alnus acuminata* en la zona central, allí también participaron activamente los ingenieros forestales Jaime Andrés Alzate y Gloria Helena Olarte al igual que el personal de campo.
- **Pizano S.A.** Para el desarrollo del trabajo de campo en las especies *Gmelina arborea* y *Pachira quinata* se contó con todo el apoyo de la compañía desde Bogotá por el doctor Miguel Rodríguez, se coordinó el trabajo en la zona del Magdalena bajo seco con la ayuda de la ingeniera Diana Pérez Hincapié y la ingeniera Yenny Rincón quien realizó el trabajo de medición de biomasa en campo y envío de muestras. Adicionalmente el ingeniero Hernán Urueña participó en el análisis de los resultados de nutrientes para las especies de interés.
- **Reforestadora El Guásimo S.A.** Durante la ejecución del proyecto se llevaron a cabo cambios estructurales en algunas de las compañías socias del sector productivo, a pesar de las reestructuraciones reforestadoras como el Guásimo y Del Caribe inicialmente ambas pertenecientes al grupo Argos participaron completamente de las actividades programadas en el proyecto, en plantaciones ubicadas en Yarumal (Antioquia) se iniciaron las labores de muestreo de biomasa en la especie *Pinus patula* con la coordinación del doctor Mauricio Moreno, Luis Fernely Jaramillo, William Silva y el personal técnico y de campo, allí también se empezó con las mediciones de campo con cámaras de intercambio gaseoso.
- **Reforestadora de la Costa S.A.** con la empresa el trabajo estuvo concentrado en la finca Huerta la grande del municipio de Villa Nueva (Casanare), allí se realizó el trabajo para las especies *Pinus caribea*, *Eucalyptus pellita* y *Acacia mangium*. La coordinación del trabajo se realizó con el doctor Guido Gasca, Mauricio Rivas y Mónica Sarmiento, luego de las mediciones de biomasa se realizaron las mediciones de intercambio gaseoso e interceptación de la radiación, igualmente en el sitio se realizó el taller de intermedio de avance y uso del modelo CREFT con la participación de todos los miembros de la alianza.
- **Reforestadora del Caribe S.A.** Con su sede operativa en el municipio de Puerto Libertador en el departamento de Córdoba, se realizó el trabajo de recopilación de la información en campo para las especies *Tectona grandis* y *Acacia mangium*, el trabajo estuvo coordinado inicialmente por el doctor Valentín Vieira y el ingeniero Danny Torres, posteriormente el ingeniero Alejandro Castaño y Lina Arango.
- **Universidad Nacional de Colombia.** Con la participación activa de los profesores Flavio Moreno, Sergio Orrego e Ignacio del Valle del departamento de ciencias forestales de la facultad de ciencias agropecuarias de la sede Medellín, se socializó los avances del análisis de la información de campo, también se realizó la selección de los estudiantes que participaron en diferentes sitios realizando las mediciones de campo, los profesores participaron en la asesoría y evaluación de los trabajos académicos realizados por algunos estudiantes.
- **Reforestadora Kanguroid S.A. y Reforestadora San Sebastián S.A.** A pesar de no estar incluidas en la propuesta de investigación se contó con la colaboración de estas otras dos reforestadoras las cuales poseen amplias zonas plantadas con especies de interés forestal para el país: *Acacia mangium* y *Eucalyptus tereticornis*

a las cuales se les realizaron mediciones con el propósito de incluir la información para la Parametrización del modelo CREFT, éstas compañías dispusieron del material vegetal, infraestructura y logística para la realización de los trabajos, en Kanguroid en Tierralta coordinado por el doctor Gustavo Barbosa y con el acompañamiento del técnico Nelson Paternina , mientras que en la reforestadora San Sebastián ubicada en el municipio de Mompóx la coordinación se realizó con el doctor Raúl Jaime Hernández e Iván Esquivel y con la colaboración del técnico Hernando Guillén.

ANÁLISIS DE IMPACTOS

- IMPACTOS SOCIALES

1. **Número de beneficiarios** : Al finalizar la ejecución del proyecto personal técnico perteneciente a los socios de la alianza conocen y usan la herramienta computacional CREFT V 2.0, el programa es apreciado por la simplicidad para su uso y por la información simulada, partiendo de las estimaciones de datos climatológicos faltantes y estimando el crecimiento la extracción de elementos minerales del suelo.

2. **Inversión por beneficiario**: Puesto que los usuarios directos de los resultados del proyecto son los técnicos de las empresas de la alianza, y formuladores de proyectos MDL, el valor correspondiente a cada usuario actual del programa correspondiente a la inversión total dividido en el total de usuarios actuales (24) sin incluir usuarios de la academia es de \$39'814.210 por usuario.

3. **Empleo generado**: En términos del número de jornales permanentes generados, al verse favorecida la expansión de los proyectos forestales por diferentes razones y ante la necesidad por cada hectárea de producción forestal de aproximadamente 105 jornales permanentes durante los primeros cinco años de establecimiento, de los socios de la alianza que pertenecen al sector productivo al finalizar la ejecución del proyecto se incrementó la generación de empleo por efecto de la expansión forestal en más de 3000 hectáreas correspondiente a 63.000 jornales por año.

- IMPACTO SOBRE LA COMPETITIVIDAD DE LA CADENA

4. **Número de hectáreas sobre las cuales se aplica el CREFT**: Los modelos de simulación por procesos, permiten incorporar variables exógenas de difícil control, como la oferta energética y visualizar de forma ex ante el posible comportamiento de las plantaciones, llevando a cabo los correctivos necesarios para garantizar la productividad del sistema, lo cual estará directamente relacionado con los flujos de materia prima para la industria, con el modelo desarrollado se contribuye en la competitividad de la cadena en conjunto. El modelo se aplica inicialmente en 15.000 hectáreas cultivadas de los socios de la alianza.

5. **Eficiencia (Productividad)**: En las corridas iniciales del modelo CREFT, se identificó que el mayor efecto sobre la productividad está relacionado con la densidad de población. La herramienta permitirá estimar este efecto en tiempo real y contribuirá a mejorar la eficiencia y productividad de las plantaciones. El uso de la herramienta en los proyectos

MDL, tanto en la construcción de la línea de base como en la metodología de monitoreo, mejorará la eficiencia de la cadena, debido a la disminución en los costos de transacción proyectos MDL. Haciendo buen uso de la herramienta en el monitoreo, se puede esperar un impacto del 10% en el mejoramiento de la productividad y de la reducción de los costos de transacción de proyectos MDL.

6. Mejoramiento de la calidad: Utilizar el modelo CREFT en los proyectos MDL, permitirán mejorar la calidad de los mismos, disminuyendo la incertidumbre de la contabilidad del carbono capturado y por tanto mejorando la calidad y calificación del proyecto por cuanto el modelo es de tipo ecofisiológico provee mayor precisión que las estimaciones actualmente realizadas con otras herramientas.

- IMPACTO SOBRE EL MERCADO

7. Porcentaje de mercado capturado y/o ampliación de mercados existentes para el producto de la cadena: La mayor contribución del CREFT se enfocó hacia el mercado global del carbono. Al finalizar la ejecución del proyecto se han registrado dos proyectos MDL ante la convención marco de las naciones unidas para el cambio climático por parte de dos de los socios miembros de la alianza por más de 9000 hectáreas de proyecto MDL.

8. Cantidad de mercado capturado y/o ampliación de mercados existentes para el producto de la cadena: Al finalizar la ejecución del proyecto se han registrado dos proyectos MDL ante la convención marco de las naciones unidas para el cambio climático por parte de dos de los socios miembros de la alianza por más de 9000 hectáreas de proyecto MDL.

9. Ventas de mercado capturado y/o ampliación de mercados existentes para el producto de la cadena: Al finalizar la ejecución del proyecto se han registrado dos proyectos MDL ante la convención marco de las naciones unidas para el cambio climático por parte de dos de los socios miembros de la alianza por más de 9000 hectáreas de proyecto MDL, algunos de los parámetros presentados en el documento proyecto para el registro provienen de trabajos realizados en el marco del proyecto CREFT.

- IMPACTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS EN LAS ENTIDADES PARTICIPANTES

10. Número de recursos humanos en investigación, desarrollo tecnológico e innovación: Se graduaron cinco estudiantes de pregrado (4) en ingeniería agronómica y (1) en ingeniería forestal los cuales realizaron trabajos de tesis y pasantía en temas de productividad forestal en el marco de la ejecución del proyecto a su vez se adelantaron (3) estudios de posgrado. Se consolidó un grupo multidisciplinario de investigadores, docentes y técnicos alrededor del tema de productividad, simulación matemática y pronóstico.

12. Registro y documentación técnica del Know-How: El modelo CREFT ajustado y validado podrá ser incorporado como una metodología de cálculo de línea de base y

de monitoreo para que sea reconocida y registrada ante la junta ejecutiva del MDL del protocolo de Kioto, en lo que se constituiría en la primera metodología Colombia aprobada.

- IMPACTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Durante la ejecución se evaluaron los efectos del proyecto en el aire, suelo, agua y biodiversidad, con la implementación del sistema de gestión integral se tomaron las medidas necesarias para la gestión ambiental, igualmente se identificaron para la etapa de implementación de los resultados principalmente impactos positivos por la naturaleza del proyecto en los que se destaca la promoción de la reforestación con la incidencia de los beneficios en los recursos naturales.

La actividad principal al momento de la implementación del proyecto es la utilización del software CREFT V 2.0 la cual no requiere fuentes grandes de recursos naturales, por tanto no tiene mayores implicaciones en el equilibrio natural del medio ambiente. El producto final del proyecto no genera efectos negativos en el entorno natural, humano y socioeconómico

13. Reducción en el consumo de energía: Durante la ejecución del proyecto se identificaron los elementos ambientales y se implementaron las medidas de gestión necesarias para el uso eficiente de energía eléctrica logrando una reducción del 1% en diciembre de 2011 en la entidad ejecutora del proyecto.

14. Reducción en el consumo de recursos naturales: La implementación de proyectos de reforestación y en particular con fines de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero disminuye la presión por materias primas del bosque natural, salvaguardando los recursos naturales y la biodiversidad.

15. Reducción en la generación de emisiones, vertimientos y residuos sólidos: El CREFT como herramienta podrá facilitar la implementación de proyectos forestales dirigidos a la captura de carbono (MDL), igualmente durante la ejecución del proyecto se implementó el sistema de gestión en el cual el componente ambiental logró reducir en un 85% la carga contaminante que entra al sistema de tratamiento y se aumentó en un 10% el volumen de residuos sólidos aprovechables en la sede principal de la entidad ejecutora.

Se ha estimado como una posible consecuencia sobre el entorno natural, la ejecución y funcionamiento del software, mediante la producción de gasto energético en la utilización de equipos electrónicos, también la generación de CDs o DVDs los cuales se consideran contaminantes al estar hechos de una gran cantidad de materiales diferentes como el aluminio, policarbonato, acrílicos, tintes químicos (hechos de petróleo), vidrio, plata y níquel. A la vez se recomienda al usuario dar un adecuado a estos posteriores desechos (CD's deteriorados).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la operatividad del modelo CREFT a nivel potencial es necesario contar con datos climatológicos (brillo solar, temperatura máxima y mínima) diarios del sitio donde se desea simular la producción, en el marco del presente proyecto el equipo ejecutor desarrolló el aplicativo SimClim v1.0 a partir del cual es posible simular bajo el principio estadístico de cadenas de Markov los datos climatológicos necesarios en caso de existir series con información faltante.

Los parámetros de interceptación de energía por la planta: coeficiente de extinción de la radiación (k) e índice de área foliar (IAF) son fundamentales para la simulación del valor de la asimilación de CO_2 en la planta completa dentro del sistema CREFT. Este a su vez se basa en el modelo descrito por Goudriaan 1986, en el cual se incluyen parámetros calculados a partir de mediciones realizadas de asimilación en hojas individuales.

Realizado el análisis de los datos medidos de interceptación de la radiación en las 12 especies forestales objeto del estudio se estimó el coeficiente de extinción de luz como el parámetro de un modelo exponencial decreciente que relaciona el cociente entre energía luminosa transmitida a través del dosel y la energía luminosa en el tope del dosel (I/I_0) y el índice de área foliar (IAF) acumulado.

Realizada la reparametrización de las especies forestales incluidas en el sistema CREFT se continuó con la parametrización de las especies nuevas. Se dispuso en entorno Web del modelo para el uso por parte de los socios de la alianza, se recomienda continuar con el soporte al sistema para dar respuesta a las inquietudes que del uso se pudieran presentar.

El funcionamiento de la alianza fue ejemplar resultado de la amplia colaboración por parte de cada uno de los miembros del sector productivo, académico y de investigación en el desarrollo de las actividades ejecutadas para el logro de los objetivos propuestos.

Para determinar los valores de las temperaturas cardinales en la fotosíntesis de las plantas se desarrolló un experimento midiendo el intercambio gaseoso en diferentes puntos altitudinales con oferta térmica contrastante, los resultados presentaron temperaturas umbrales inferiores para especies como *A. acuminata* y *P. patula* de $6^\circ C$ y superiores de $38^\circ C$ para *T. grandis* y *G. arborea*.

Con los datos obtenidos de las mediciones en campo necesarios para incorporar al módulo de distribución de la biomasa forestal, se obtuvieron los modelos alométricos que relacionan variables como el diámetro normal a los 1,3 metros con el crecimiento en longitud y peso seco del tallo y total, volúmenes y biomasa.

Las relaciones que presentaron para la mayoría de los casos los valores de mejor ajuste de bondad según el coeficiente de determinación como proporción de variabilidad de la variable dependiente fueron las que incluían al volumen, el peso y el diámetro normal con la edad en tiempo fisiológico.

A partir de los modelos de crecimiento en función del tiempo térmico es posible obtener la respuesta en acumulación de biomasa en la planta según cambios en la edad y temperatura media ambiental en la cual se desarrolla la plantación, la variabilidad observada presenta un comportamiento típico heterocedástico en la cual las mayores

amplitudes en el rango de datos por edad se presenta en las mayores edades de las plantaciones.

De manera generalizada la transpiración tuvo un comportamiento similar al de la asimilación a través del día, y de igual manera decreció en las horas del medio día aunque en menor grado que la asimilación

BIBLIOGRAFÍA

Asner, G.P., Scurlock, J.M.O., Hicke, J.A., 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology. Biogeogr.* (12): 191-205.

Binkley, D., Stape, J.L., Bauerle, W.L, Ryan, M.G., 2010. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by Eucalyptus at four sites in Brazil. *Forest Ecology and Management* 259: 1704–1713.

Bowyer, J.R.; Leegood, R.C. (1997). Photosynthesis. In *Plant biochemistry*. Ed. by P.M. Dey & J.B. Harborne. Academic Press, London. 49 -110 pp.

Bolstad, P.V., Gower, S.T., 1990. Estimation of leaf area index in fourteen southern wisconsin forest stands using a portable radiometer. *Tree Physiology* 7, 115-124.

D' Ambrosio, N., Arena, C., De Santo, A.V. 2006. Temperature response of photosynthesis, excitation energy dissipation and alternative electron sinks to carbon assimilation in *Beta vulgaris* L. *Environmental and Experimental Botany* 55 (2006) 248–257.

Deblonde, G., Penner, M., Roye, A. 1994. Measuring Leaf Area Index with the Li-Cor LAI-2000 in Pine Stands: *Ecology*, Vol. 75, No. 5 (Jul., 1994), pp. 1507-1511

De Wit C. T., 1965. Photosynthesis of leaf canopies; *Agric. Res. Report N°663 PUDOC*, Wageningen. 57 p.

Edwards, G. E., S. B. Ku, and J. G. Foster. 1983. Physiological constraints to maximum yield potential. In T. Kommedahl and P. H. Williams (eds.), *Challenging Problems in Plant Health*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN, pp. 105–119.

Fageria, N.K., Baligar, V.C., Jones, C.A. 2011. Factors affecting production of field crops. In: *Growth and mineral nutrition of field crops third edition*. CRC Press., 13-55 pp

Falster, D.S., Westoby. M., 2003. Leaf size and angle vary widely across species: what consequences for light interception?. *New phytologist* 158: 509–525.

Fournier, R.A., Maily, D., Walter, J.M., Soudani, K., 2003. Indirect measurement of forest canopy structure from in situ optical sensor. In: *Wulder, M., Franklin, S, (Eds.), Methods for Remote Sensing of Forests: Concepts and Case Studies*. Kluwer Academic Press, Dordrecht. 77-114.

Gardner, F.P., Pearce, B.R., Mitchel, R.L., 1985. Carbon fixation by crop canopies. In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Pp. 31-57

GIECC. (1996a) Climate change 1995. Contribution of WG I to the second assesment report of the IPCC. Cambridge University Press.

GIECC. (1997a) Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO₂. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Organización Meteorológica Mundial. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 51 p.

GIECC. (1997b) Estabilización de los gases atmosféricos de efecto invernadero: implicaciones físicas, biologicas y socioeconómicas. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Organización Meteorológica Mundial. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 63 p.

GIECC. (2000b) Informe especial del IPCC escenarios de emisiones. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Organización Meteorológica Mundial. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 27 p.

Goodriann, J. 1986. A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of crop photosynthesis. Short communication. En: Agricultural and forest Meteorology, Holanda. Vol. 38 (1-3): 180 – 182.

Goodess, C.M.; Palutikof, J.P. (1992) The development of regional climate scenarios and ecological impact of greenhouse gas warming. Adv. Ecol. Res. 22: 33-62.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2001). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 267 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). (2010). Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 447 p.

IPCC. (2001). Climate Change. Impacts, adaptation, and Vulnerability. Technical summary, a reporting of working group II of the Intergovernmental Panel of Climate Change.

Jackson, J.E.; Palmer, J.W. 1979. A simple model of light transmission and interception by discontinuos canopies. Annals of Botany. 44: 381-388

King, D. A., 1997. The funcional significance of leaf angle in Eucalyptus Australian. Journal of Botany 45: 619-639.

Lambers, H., Chapin, F.S., Pons, T.L., 1998. Plant physiological ecology. New York, USA: Springer.

Lee, D.W., Oberbauer, S.F., JOHNSON, P., 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany* 87(4): 447-455.

Loomis, R.S., Williams, W.A., Productivity and the morphology of crop stands: patterns and leaves. En Eastin JD, Haskins FA, Sullivan CY, van Bavel CHM (eds), pp 28-45 (1969). *Physiological aspects of crop yield*. CSSA and ASA. Madison, WI.

Monteith J. L. (1965). Light distribution and Photosynthesis in field crops. *Annals of Botany (Inglaterra)* 29 (113): 17-37.

Montoya E. C.; Arcila J.; Jaramillo A.; Riaño N.; Quiroga F. Modelo para simular la producción potencial del cultivo del café en Colombia. *Boletín técnico* 33. Cenicafé 2009 52p.

[NASA - NASA Research Finds 2010 Tied for Warmest Year on Record» \(Feature\). NASA.](#) Consultado el 21-08-2011.

Norman J. M., And Campbell G. S., 1989. Canopy structure; En: *Plant Physiological Ecology, field methods and instrumentation*; edited by Chapman and Hall; cap. 14; p: 301 – 325

Pallardy, S.G.; Kozlowski, T.T. 2008. Transpiration and plant water balance In: *Physiology of woody plants*. Academy press cap12 -325-366 454p.

Pendleton, J.W., Hammond, J.J., 1969. Relative photosyntetic potential for grain yield of various leaf canopy levels of corn. *Agronomy Journal* 61: 911.

Purcell, L.C., R.A. Ball, J.D. Reaper y E.D. Vories. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science* 42(3), 172-177.

Rada, F., Jaimez, R.E., Garcia, C., Azócar, A., Ramirez, M.E Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2005, 22: 112-120

Riaño, N., Tangarife, G., Osorio, O., Giraldo, J., Ospina, C. Obando, D., Gómez, L., Jaramillo, L., 2005. Modelo de crecimiento y captura de carbono para especies forestales en el trópico. CREFT V1.0. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Federación Nacional de Cafeteros, Centro Nacional de Investigaciones en Café "Pedro Uribe Mejía" CENICAFÉ, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF. 51p.

Ross, J. 1981. The radiation regime and architecture of plant stands. The Hague, Junk Publishers. 391 p.

Saralabay, V.C.; Vivekanandan, M.; Suresh Babu, R. (1997) Plant responses to high CO₂ concentration in the atmosphere. *Photosynthetica* 33: 7-35.

Saeki, T., 1993. Light relation in plant communities. In: EVANS, L. *Environmental control of plant growth*. New York, Academy Press.. P. 79-94

Shibles, R., 1983. *Crop Physiology*. Ames, Iowa State University Press.

Trejo, M., Zermejo, J.A.A., Olague, R.J., Aldaco, N. R., Fortis, H.M, Salazar, S.E., Rodriguez, R.J.C, Vazquez, V.C., 2006. Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *Revista internacional de botánica experimental* 75: 47-53.

Trenbath, B.R., Angus, J.F., 1975. *Field Crops Abstract* 28: 231 – 244.

UNFCCC. Clean Development Mechanism, Project Activities. Consultado el 01-11-2011