

EVALUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN MAIZ (ZEA
MAYZ) EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE PASTO,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PATERSON ADRIANO ARBOLEDA QUIÑONES

Presidente de tesis

JAVIER ANÍBAL LEÓN GUEVARA

I. AF. M.s.c Agroforesteria Tropical

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA: INGENIERÍA AGROFORESTAL

PASTO – COLOMBIA

2010

EVALUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN MAIZ (ZEA
MAYZ) EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE PASTO,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PATERSON ADRIANO ARBOLEDA QUIÑONES

Presidente de tesis

JAVIER ANÍBAL LEÓN GUEVARA

I. AF. M.s.c Agroforesteria Tropical

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA: INGENIERÍA AGROFORESTAL

PASTO – COLOMBIA

2010

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Proyecto de Trabajo de Grado, son de
responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ª del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo
Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

EVALUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN MAÍZ (*Zea mays*)
EN TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN, MUNICIPIO DE PASTO,
DEPARTAMENTO DE NARIÑO¹

EVALUATION OF CARBON STORAGE IN MAIZE (*Zea mays*) IN THREE
PRODUCTION SYSTEMS, MUNICIPALITY OF PASTO, DEPARTMENT OF
NARIÑO¹

Paterson Adriano Arboleda Q.²
Javier Aníbal León G.³

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en el Centro de investigación FEDEPAPA, del corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, a una altura de 2710 msnm, temperatura promedio de 13 °C y precipitación promedio anual de 840 mm, con el objetivo de evaluar la biomasa aérea (Ba) y almacenamiento de carbono (C) en maíz (*Zea mays*), distribuido en monocultivo (Mc), y en asocio con el sistema cultivo en callejones (Cc) con la especie acacia (*Acacia decurrens*) (de 12 meses) y un Banco Proteína (Bp) con *A. decurrens* (de 15 años). Cada sistema se distribuyó en 76 m² (lote experimental) donde *Z. mays* estuvo sembrado a 0,2 m entre plántulas y 0,50 m entre surcos. Se evaluó 543 plántulas en diferentes épocas de crecimiento (tres, cinco, seis, ocho meses, 135 plántulas por cada época), en cada sistema (Mc, Bp, Cc). La metodología para determinación de biomasa aérea (Ba) y carbono (C) se realizó mediante el método destructivo. A partir de los datos obtenidos se procedió a realizar un análisis de varianza, en el programa InfoStat-Statistical, donde se encontraron diferencias significativas en las épocas de evaluación, pero en Ba y C almacenado no se detectaron diferencias estadísticas en los sistemas analizados.

¹ Evaluación del almacenamiento de carbono en maíz (*Zea mays*) en tres sistemas de producción agrícola, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

² Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. pa.arboleda@gmail.com

³ I.AF., M.Sc. Coordinador del Proyecto Evaluación y desarrollo de Alternativas de mitigación frente al cambio climático en diferentes agroecosistemas del departamento de Nariño. leon_anibal@hotmail.com

Los resultados obtenidos durante las épocas de evaluación muestran que el arreglo (Mc) acumuló³ mayor Ba y C en comparación con Bp y Cc. Mc presento valores promedios de 2,16, Ba 1,15 kg C, seguido Cc con 1,82 Ba, 0,97 kg C y por ultimo tenemos a Bp con 1,51 Ba, 0,81 kg C. respetivamente. De acuerdo a los resultados se observa que existe una relación árbol - cultivo en los arreglos Bp y Cc, el análisis de varianza demostró que no existen diferencias significativas en los arreglos.

Se concluye que existe una relación árbol - cultivo que beneficia la acumulación de C en las plantas de *Z. mays* también existe una leve competencia por nutrientes y radiación solar en la asociación de la *A. decurrens* del modelo Bp y Cc con respecto al Mc.

Palabras clave

Biomasa aérea, carbono, sistemas agroforestales, análisis de varianza, cambio climático, plantas C4.

ABSTRACT

This study was carried out in FEDEPAPA Research Center, the township of Obonuco, municipality of Pasto, Nariño department, at an altitude of 2710 meters, average temperature of 13 °C and average annual rainfall of 840 mm, with the aim of assessing aboveground biomass (Ba) and storage of carbon (C) in maize (*Zea mays*), distributed in monoculture (MC), and in association with alley cropping system (Cc) with species Acacia (*Acacia decurrens*) (from 12 months) and a Protein bench (Bp) with *A. decurrens* (15 years). Each system is distributed in 76m² (experimental batch) where *Z. mays* was planted at 0.2 m between seedlings and 0.50 m between rows. 543 seedlings were evaluated in different growing seasons (three, five, six, eight months, 135 seedlings for each time) in each system (Mc, Bp, Cc). The methodology for determination of uptree biomass (Ba) and carbon (C) was performed by the destructive method. From the data obtained was carried out a variance analysis, the program InfoStat-Statistical, where they found significant difference in time of evaluation, but stored in Ba and C were not detected statistical differences in the systems analyzed.

The results obtained during the periods of evaluation show that the array (Mc) accumulated more Ba and C compared to BP and CC. Mc present average values of 2.16, Ba 1.15 kg C, followed by Ba 1.82 cc, 0.97 kg C and Finally we have Bp with Ba 1.51, 0.81 kg C. Respectably. According to the results show that there is a tree crop Bp and CC arrangements, analysis of variances howed no significant differences in the arrangements.

It concludes that there is a tree crop that benefits C accumulation in plants of *Z. mays* also there is a slight competition for nutrients and solar radiation in the association of *A. decurrens* BP and CC model with respect to Mc.

Keywords

Biomass, carbon, agroforestry systems, variance analysis, climate change, C4 plants.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido al gran impacto negativo en la seguridad alimentaria, la economía mundial, la infraestructura física y los recursos naturales (Eguren 2004). A partir del protocolo de Kyoto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de los gases efecto invernadero (GEI) por parte de los países industrializados, empleando el mecanismo de flexibilidad existentes; siendo uno de ellos el proyecto llamado mecanismo de desarrollo limpio (MDL), que a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales con fines de captura de carbono (Conam, 2001).

En los últimos años los seres humanos han sido testigo de los grandes cambios que a tenido el planeta, por los malos usos de los combustibles fósiles, los cuales son emitidos a la atmosfera, dando como resultado la acumulación excesiva de dióxido de carbono (CO₂). El resultado de esto, es lo que se conoce como calentamiento global, presentando desordenes naturales y modificando el habita de los seres vivos. El mundo está enfrentando una gran problemática ambiental, a pesar de esto son muy pocas las investigaciones que sean realizado en cultivos transitorios, como el *Z. mays* que

permitan conocer la capacidad de almacenamientos de CO₂. Ya que han resultado ser muy eficientes para mitigar los efectos ocasionados por la actividad antropogénica.

Según Dixon (1995), los sistemas agroforestales permiten reducir las emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nítrico (N₂O) quienes son los responsables del efecto de invernadero. Para Andrade e Ibrahim (2003), los sistemas agroforestales acumulan carbono en el sistema en cuatro componentes: sistemas radicales, biomasa sobre el suelo, hojarasca y carbono orgánico del suelo.

Las plantas utilizan CO₂ y liberan O₂ durante el proceso de la fotosíntesis, Según García *et al*, (2006): En el proceso de la fotosíntesis se crea una mayor cantidad de masa de la que es consumida a través de la respiración, esto sucede esencialmente en las plantas tipo C₄, entre las cuales se encuentra el maíz, el sorgo y la caña. Estas plantas pueden almacenar y mantener potencialmente una mayor cantidad de energía y de biomasa que las de tipo C₃, al capturar una cantidad significativa de CO₂.

CLASIFICACIÓN Y TAXONOMIA DEL Z. MAYS: División: Magnoliophyta, Clase: Liliopsida, Orden: Poales, Familia: Poaceae, Género: Zea, Especie: *Zea mays*.

El cultivo de *Z. mays* en el Departamento Nariño, ocupa el segundo lugar en área cultivada después del trigo, con aproximadamente 10.000 hectáreas distribuidas entre los 2.000 y 3.000 msnm. Para el año 2000, los rendimientos promedios de maíz anual en Nariño no superaban los 1270 kg/ha. Estos rendimientos han permanecido constantes a través de muchos años y se pueden considerar como bajos, los remanentes que se obtienen en la comercialización o la industria. Esto se debe especialmente a la baja tecnología con que se cultiva y al uso de genotipos de libre polinización que presentan rendimientos muy bajos (Criollo *et al*, 2000).

La presente investigación, se realizó con el propósito de determinar la tasa de biomasa aérea y carbono acumulable en el cultivo de *Z. mays*, donde podría incluirse como un escenario a futuro en la captura de CO₂, y como alternativa de sostenibilidad ambiental generando un valor agregado a los agricultores por la prestación de dicho servicio.

MATERIALES Y MÉTODOS

LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en el Centro de Investigación FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, localizado a 5 km hacia el sur occidente de la ciudad San Juan de Pasto a 1° 13' latitud norte y 77° 16' longitud oeste a una altura de 2.710 msnm, con una temperatura promedio de 13 °C, precipitación promedio anual de 840 mm, suelos franco arcillosos (Mera y Zamora, 2003).

El área donde se desarrolló la investigación presentó suelo con un pH de 5,2 siendo muy ácido, presentando un porcentaje de materia orgánica de 7,25%, cantidad de Nitrógeno de 0,27%, Fósforo 4,02 mg y Potasio 0,844 mEq/100 gr, con una densidad aparente de 1,04 g/cm³ (Bravo y Rosero, 2011).

Nariño, se caracteriza por estar constituido por suelos andisoles, los cuales son de evolución media, desarrollados a partir de materiales piroclásticos (cenizas, pómez, lapilli, lava) y que tienen propiedades ándicas. Cumplen además con algunas propiedades químicas y físicas, presentan altos valores en contenido de materia orgánica, sobre un 20%, tienen gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de cambio (IGAC, 2004).

Descripción del ensayo experimental

.

La investigación se realizó en un área experimental de 720 m², conformada por arboles de *A. decurrens*, y el cultivo de *Z. mays*, distribuidos en tres tratamientos: **T1**: banco de proteína, **T2**: monocultivo, **T3**: cultivos en callejones.

Banco de proteína (Bp): este arreglo se estableció hace 15 años, presenta un área de 76 m², está distribuido por 10 hileras, en las cuales están intercaladas con *Z. mays* y la *A. decurrens*. En la fila 1, 4, 7 y 10 podemos encontrar especies como las *A. decurrens*, a una distancias de siembra de 1.5 m entre planta y 2 entre surco para un total de 25 arboles, y las filas 2, 3, 6, 8 y 9 se observaban las plantas de *Z. mays*, la distancias de siembra fue de 20 cm entre plantas y 50 cm entre surco para un total de 543, donde hay

que advertir que las plantas, se encontraban entre 1 y 2 y en ocasiones no existían plantas por sitio.

Arreglo monocultivo (Mc): compuesto por plantas *Z. mays*, donde existen 4 surcos tiene un área de 76 m². La distancia de siembra es de 20 cm entre planta y 50 cm entre surco para un total de 543 plantas.

Arreglo cultivo en callejones (Cc): en este arreglo el componente arbóreo (*A decurrens*) tenía 12 meses de establecida cuenta con un área de 76 m². La distancia entre planta es de 1.5 m y entre surco es 2 m, el *Z. mays* está sembrado a 20 cm entre plantas y 50 cm entre surco. Donde se encontró 543 plantas y 25 árboles.

Arreglo cultivo en callejones.

Sistema productivo monocultivo.

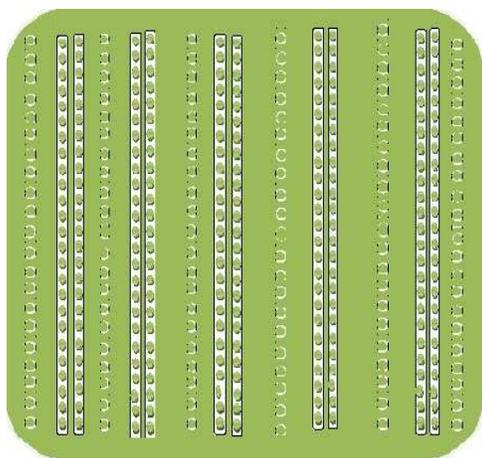


Figura 1.

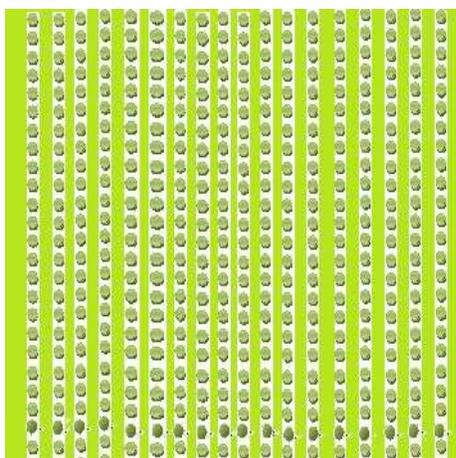


Figura 2.

Para la determinación de Ba y C almacenado en el cultivo *Z. mays*, se realizó el método destructivo como lo recomienda MacDiken (1997), modificado para esta investigación. Se realizaron cuatro muestreos, en diferentes épocas del cultivo, para el primero se efectuó a los tres meses de establecido el 13/09/010, donde se tomaron en el **T1** 135, **T2** 135, **T3** 135 plantas, para el segundo se lo realizó a los cinco meses de establecidos a los 17/11/010 se tomo para los **T1** 135, **T2** 135, **T3** 135 plantas. El tercer muestreo se efectuó el 15/12/010 y se tomaron **T1** 135, **T2** 135, **T3** 135. Y en el cuarto muestreo se llevo a cabo el 16/02/011 en donde se procedió a erradicar el total de plantas encontrándose en el **T1** 135, **T2** 135, **T3** 135 plantas. Las plantas seleccionadas se

cortaron y pesaron directamente en campo, con una balanza, luego se procedió a homogenizar todo el material vegetal de cada arreglo y se tomo un kilo de cada sistema, posteriormente se empacaron en bolsas herméticas rotuladas indicando la fecha y arreglo.

El mantenimiento de los arreglos, se lo manejo orgánicamente, con los desechos del material vegetal generado con las podas realizada a los arboles de *A. decurrens*, la cual se realizó cada 3 meses, el control de malezas se lo manejo manualmente y con machetes, en cuanto al control fitosanitario no se realizó manejo alguno.

Análisis de laboratorio

Las muestras de las plantas de *Z. mays* fueron llevadas al laboratorio bromatológico de la Universidad de Nariño, donde se pasaron a bolsas de papel y se pesaron en una balanza electrónica, posteriormente se sometieron a un secado a 80°C durante 48 horas, hasta que se obtuvo un peso constante y finalmente se estimo el porcentaje de materia seca. Dentro de los controles para evitar problemas de contaminación de las muestras se procedió a cenizar la muestra y se expreso los valores como peso seco libre de ceniza (Schlönvoigt *et al*, 2000).

Determinación de biomasa y carbono. Se obtuvo el porcentaje de materia seca de las muestras obtenidas en campo mediante la ecuación propuesta por Segura y Kanninen (2002):

$$MS\% = (PSM/PFM)*100$$

Dónde:

MS: Porcentaje de materia seca

PSM: Peso seco de la muestra (g)

PFM: Peso fresco total en campo (g).

Una vez se obtuvo la cantidad de materia seca, se calculó la Ba multiplicando el porcentaje de materia seca por el peso fresco obtenido en campo. Para cada uno de los tratamientos evaluados mediante la ecuación recomendada por Segura y Venegas (1999):

$$Bc = [PFC * MS (\%)]/100$$

Dónde:

Bc: Biomasa del componente (g.)

PFC: peso fresco total tomado en el campo (g.)

MS (%): Porcentaje de materia seca.

Posteriormente se determinó el C almacenado en cada uno de los arreglos evaluados (kg), a partir de la fracción de carbono determinada en el laboratorio, donde reporto un promedio de 0.53 kg. Luego se expresaron los resultados en toneladas por hectárea, MacDiken (1997), menciona que en promedio la materia vegetal contiene un 50% de carbono. Para estimar el C almacenado en la Ba de esta especie, se empleó la ecuación recomendada por Ávila (2000).

$$CA = Bt * FC$$

Dónde:

CA: carbono almacenado (g)

Bt: biomasa total (g)

FC: fracción de carbono.

Análisis estadístico: Con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis de varianza en el programa InfoStat. Para análisis se tuvo en cuenta: bloques (épocas 1, 2, 3, 4), tratamientos (Bp, Cc, Mc) con el fin de encontrar si existían diferencias estadísticas significativas entre los arreglos evaluados. Así mismo se realizaron las pruebas de comparaciones de medias de Tukey entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación en biomasa aérea en kilogramo por sistema: El análisis de varianza detectó que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos transcurridos los periodos de evaluación (Tabla 1). Comparaciones de medias de Tukey (Tabla 2) indica que los arreglos Mc, Cc, Bp, no presentaron diferencia significativa entre sí. A pesar que el arreglo de mayor valor fue Mc con 2,16 kg, seguido de Cc con 1,82 kg, y Bp con 1,51 kg, ubicándose en el último lugar.

Tabla 1. Análisis de Varianza para biomasa aérea almacenada en *Z. mays* en el Municipio de Pasto.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,28	5	2,46	24,46	0,0006
Bloques	11,43	3	3,81	37,96 **	0,0003
Tratamientos	0,85	2	0,42	4,21 ^{ns}	0,0720
Error	0,60	6	0,10		
Total	12,88	11			

ns: No significativo

**** : Diferencias altamente significativas**

Tabla 2. Pruebas de comparación de media de Tukey para biomasa aérea almacenada en *Z. mays* en el municipio de Pasto.

Tratamientos Medias

Mc	2,16	A
Cc	1,82	A
Bp	1,51	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

De acuerdo a los resultados arrojados en la investigación muestran que no existe estadísticamente diferencia entre los arreglos evaluados, donde a pesar que el *Z. mays* es una planta C4 y necesita de una cantidad considerable de luz para su óptimo desarrollo fisiológico y al asociarla con otra especies en este caso *A. decurrens* no presentaron diferencia frente al Mc. Esto difiere con lo mencionado por Nelson y Cox (1995). Donde dicen que las plantas C4, la condición óptima se caracteriza por requerimientos de alta cantidad de luz, y elevada humedad y temperatura.

Experimento realizado por Sánchez, (2005) muestran que los sistemas evaluados, no presentaron diferencias significativas en rendimiento y producción de maíz entre los callejones de leguminosas y el testigo fertilizado con nitrógeno en dosis de 75 kg. N/ha, lo cual demuestra que el nitrógeno aportado al maíz por las leguminosas suple los requerimientos del maíz, para las condiciones dadas. Este pudo ser el motivo que no presentaron diferencias significativas los arreglos en Ba ya que a los arboles se podaban cada tres meses y todo el material vegetal obtenido era distribuido en todo el arreglo.

Evaluación de carbono en kilogramo por sistema: El análisis de varianza demostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamiento en C acumulado, transcurridos los periodos de evaluación (Tabla 3). Las comparaciones de

medias de Tukey (Tabla 4) indica que los arreglos Mc, Cc, Bp, no presentaron diferencia significativa. Siendo Mc el de mayor valor promedio con 1,15 kg, aproximadamente, seguido Cc, con 0,97 kg y Bp con 0,81 kg respetivamente.

Tabla 3. Análisis de Varianza para carbono almacenado en *Z. mays* en el Municipio de Pasto.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,46	5	0,69	23,79	0,0007
Bloques	3,23	3	1,08	36,96 **	0,0003
Tratamientos	0,23	2	0,12	4,04 ^{ns}	0,0775
Error	0,17	6	0,03		
Total	3,64	11			

ns: No significativo

**** : Diferencias altamente significativas**

Tabla 4. Prueba de comparación de media de Tukey para carbono en *Z. mays* en el municipio de Pasto.

Tratamientos	Medias	
Mc	1,15	A
Cc	0,97	A
Bp	0,81	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Los resultados obtenidos reportan que no existe diferencia significativa entre los arreglos evaluados (Bp, Mc, Cc) en el almacenamiento de C trascurrido los periodos de evaluación. De acuerdo con Atta Krak y Kang, (1993), se considera que los cultivos que participan en este tipo sistema pueden explotar diferentes recursos y pueden interactuar positivamente entre ellos mismos. Si una de las especies que se cultiva junto con el maíz es una leguminosa, el cereal se puede beneficiar del nitrógeno fijado por esta.

Comisión Nacional Forestal, (CONAFOR 2007) menciona que los bancos de forraje pueden mejorar su calidad y disponibilidad, sobre todo a fines de la estación seca o a comienzos de la estación húmeda. Además, estos bancos restablecen y mejoran el contenido de materia orgánica y los nutrientes del suelo. Esto pudo haber sido la causa

de que los Bp y Cc reportaran al final de la investigación similares rendimientos en la acumulación de C, frente a Mc donde hay que tener en cuenta que la planta de *Z. mays* pertenece al tipo C4. Esto difiere con lo mencionado por García, (2006) Las plantas C4 constituyen un grupo importante de especies, por lo general adaptadas precisamente a ambientes con altas temperaturas, iluminación intensa y escasez de agua; Se encuentran entre ellas las especies cultivadas de mayor productividad agrícola, como el maíz (*Zea mays*), el sorgo (*Sorghum bicolor*) o la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Sánchez T. (2005). Menciona que los cultivos en callejones, no es necesario fertilizar con nitrógeno, reduciendo costos en compra, transporte y aplicación de fuentes nitrogenadas, y por ende evitando la contaminación ambiental. Además demuestra que el sistema cultivos en callejones, es una alternativa estable de producción, en el mismo lote, sin tener que recurrir a la agricultura migratoria.

Gordon *et al.*, (1993) informaron que en algunos ambientes secos de América Central los cultivos alternativos o en secuencia de maíz con leguminosas forrajeras tales como *Canaballa ensiformis* prometen buenos resultados. En este caso, la leguminosa se siembra 15 a 30 días después del maíz y cada dos surcos de este. Esto proporciona un forraje de alta calidad y cerca de 50 kg/N/ha de incremento de la fertilidad sin reducir significativamente los rendimientos del maíz.

Evaluación de Biomasa aérea (Ba) en tonelada por hectárea: El análisis de varianza (Tabla 5) detectó diferencias estadísticas significativas, transcurridos los periodos de evaluación. Las comparaciones de medias de Tukey, indican que el arreglo Mc presentan diferencias estadísticas significativas frente a los arreglos Cc y Bp (Tabla 6), siendo Mc el de mayor valor con 22,36 t ha⁻¹ aproximadamente, seguido de Cc con 11,76 t ha⁻¹, mientras que el de menor valor fue Bp con 10,05 ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo cuando se calculo la Ba y C por hectárea las diferencias entre los arreglos se reducen debido a que en el Mc existe una mayor densidad de plantas frente a Cc, Bp.

Tabla 5. Análisis de Varianza para biomasa aérea almacenada en *Z. mays* en el Municipio de Pasto.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo	1483,09	5	296,62	10,00	0,0071
Bloques	1127,33	3	375,78	12,67 **	0,0053
Tratamientos	355,76	2	177,88	6,00 *	0,0371
Error	177,98	6	29,66		
Total	1661,07	11			

****: Diferencias altamente significativas**

***: Diferencias Significativas**

Tabla 6. Pruebas de comparación de media de Tukey para biomasa aérea almacenada en *Z. mays* en el municipio de Pasto.

Tratamientos Medias

Bp	10,05	A
Cc	11,76	A B
Mc	22,36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Los resultados obtenidos reportan que el arreglo Mc presentó mayor cantidad de Ba frente a los demás arreglos, donde posiblemente esto ocurrió porque la planta de *Z. mays* es de tipo C4 funcionan como especialistas de gran éxito con la luz solar, y Cc y Bp se encuentran asociados con *A. decurrens* de 12 mes y 18 años de edad la cual limito en un menor grado la entrada de luz, donde se genero una disminución de biomasa en las plantas *Z. mays*. Sin embargo la contribución de la leguminosa no fue determinada en este estudio. Esto con cuerda con lo mencionado por Robbert *et al*, (2001) donde menciona que Las plantas de C4 no exhiben prácticamente ningún síntoma de saturación de luz, por lo cual pueden hacer mejor uso de las intensidades de luz altas. A pesar de estas adaptaciones las plantas C4 no son más tolerantes al estrés hídrico severo que las C3; esto es, el mecanismo C4 es una adaptación encaminada al uso eficiente del agua, no a la tolerancia al estrés hídrico (Benavides, 2003).

Evaluación de carbono (C) en tonelada por hectárea: El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas entre los arreglos en C almacenado transcurrido los periodos de evaluación (Tabla 7). Para la determinación de Ba se detectó que los modelos Cc y Mc presentan diferencias estadísticas significativas frente al modelo Bp, siendo Mc el de mayor valor con 11,90 t ha⁻¹ aproximadamente, seguido de Cc con 6,26 t ha⁻¹, mientras que el de menor valor fue Bp con 5,38 t ha⁻¹ respectivamente. (Tabla 8).

Estos datos difieren de los encontrados por Zhiping *et al*, (2004) en un estudio realizado en las laderas andinas de Colombia, en el cual, encontraron producciones de 9,3 toneladas por hectáreas de C para plantas C4 como elefante *Pennisetum purpureum* (gramínea de porte alto para corte).

Tabla 7. Análisis de Varianza para carbono almacenado en *Z. mays* en el municipio de Pasto.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	417,84	5	83,57	9,85	0,0074
Bloque	317,69	3	105,90	12,49 **	0,0054
Tratamiento	100,16	2	50,08	5,91 *	0,0382
Error	50,88	6	8,48		
Total	468,73	11			

****:** Diferencias altamente significativas

***:** Diferencias Significativas

Tabla 8. Prueba de comparación de media de Tukey para carbono en *Z. mays* en el municipio de Pasto.

Tratamiento Medias

Bp	5,38	A
Cc	6,26	A B
Mc	11,90	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Los resultados obtenidos muestran que el arreglo Mc acumuló 11,90 t ha⁻¹ C, promedio durante los periodo de evaluación siendo el más alto frente a los demás arreglos, mientras Cc esta posicionado en el segundo lugar, estando asociadas *A. decurrens*, de 12 meses de edad por lo cual son menos las exigencias en nutrientes y permitía mayor entrada de luz por parte de los árboles y Bp se ubica en el último lugar, esto puede deberse a que los arboles de *A. decurrens* presentaban 18 años de edad, donde existía un número considerables de raíces, la cual demandaban una mayor necesidad de nutrientes. Resultados publicados por Fisher *et al*, (2002) determinan que a pesar de que la leguminosa contribuye en solo el 20% de la biomasa, el secuestro de carbono

ocasionado por la asociación (gramínea+leguminosa) es consecuencia del aumento en la productividad de la gramínea, ocasionado por la misma asociación. Acosta, (2003) y Esquivel, (2005) reportaron que los sistemas agrícolas pueden almacenar entre 86 y 124Mg C·ha⁻¹. La captura de CO₂ en *Z. mays* se presenta mejor como sistemas en monocultivo que asociado por ser una planta C4, estas plantas pueden almacenar y mantener potencialmente una mayor cantidad de energía y biomasa que las de tipo C3, al capturar una cantidad significativa de C (García *et al.*, 2006).

Estudio realizado por Casanova *et al.* (2010) donde estimaron el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea, radical y la hojarasca entre bancos forrajeros con especies leguminosas (dos en monocultivo y uno mixto), en Yucatán, México. Los resultados sugieren que los bancos de forraje en monocultivo almacenaron la mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea (14.7–10.4 t·ha⁻¹) y radical (8.1–6.1 t·ha⁻¹). Sin embargo, el banco de forraje mixto acumuló la mayor cantidad de carbono en la hojarasca (1.6 t·ha⁻¹), que los monocultivos (1.0 t·ha⁻¹). Asimismo, observaron que el carbono total depende altamente del arreglo de la plantación puesto que la cantidad de carbono almacenado en el banco de forraje mixto fue 28.1 % menor que los bancos de forraje en monocultivo.

Además estos resultados superan a los reportados por ACOSTA J. y TUPAZ F., (2007), en Aliso (*Alnus jorullensis*) en los sistemas agroforestales cultivo en callejones (CC) y árboles dispersos (SSP). Donde el mejor contenido de biomasa aérea total fue en el arreglo (CC) con 2.41 ton/ha y el contenido de carbono almacenado total fue de 1.20 ton/ha, frente a el arreglo (SSP) en donde el contenido de biomasa total fue de 0,647 ton/ha y el contenido de carbono almacenado total fue de 0.323 ton/ha. Partiendo de esto se puede mencionar que la especie *Z. mays* acumula y almacena gran cantidad de Ba y C con respecto a especies leñosas y por este motivo puede ser una alternativa para reducir los gases efecto invernadero y incluirse en el proceso de pagos por servicio ambiental donde va a generar un valor agregado a los agricultores de nuestra región que cultivan esta especie.

CONCLUSIONES

El análisis de varianza para biomasa aérea y carbono almacenado en el cultivo de *Z. mays* en los arreglos de Bp, Cc, Mc, demostró que no existen diferencias significativa entre sí. Presentando valores promedios en Mc con 2,16 kg, seguido de Cc con 1,82 kg, y Bp con 1,51kg, respetivamente.

Los resultados en t ha, Se pudo establecer que el análisis de varianza presentó diferencias estadísticas significativas en los arreglos Mc y Cc frente a Bp. Con valores promedios 22,36 t ha⁻¹ Ba 11,90 t ha⁻¹C, seguido de Cc con 11,76 t ha⁻¹ Ba, 6,26 t ha⁻¹C, a diferencia de Bp que obtuvo el menor valor con 10,05 ha⁻¹ Ba, 5,38 t ha⁻¹ C.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por ser nuestro padre celestial y guía de nuestras vidas, a mis Padres, familiares y amigos por el apoyo incondicional, a la Universidad de Nariño, al Programa de Ing. Agroforestal a mi presidente de tesis Javier Aníbal León Guevara Ing. A.F. M. Sc y mis jurados Jorge Fernando Navia Estrada PhD, Jorge Alberto Vélez Lozano Ing. A.F. M. Sc, a la Fundación Biofuturo por el proyecto Evaluación y desarrollo de Alternativas de mitigación frente al cambio climático en diferentes Agroecosistemas del departamento de Nariño y por su financiación.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, M. (2003). Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal agrícola de ladera de México. Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 121 pp.

Andrade, H. y Ibrahim, M. 2003. Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas Silvopastoriles en Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 10 (39-40). 109 -116 p.

Alegre J., Arévalo L., Ricse A., Barbaran J. y Palm C. 2001. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. Symposium Internacional de Agroforesteria. Manaus, Brasil EMBRAPA 21-24 de Noviembre 2000.

Atta Krah, A. y Kang, B. 1993. Alley farming as a potential agricultural production system for the humid and sub-humid tropics. In Technologies for sustainable agriculture. ASA Special Publication 56. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.

Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas Silvopastoril y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 99 p.

Dixon, R. 1995. Sistemas agroforestales y gases invernadero. En: Agroforestería en las Américas (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 2. (7). 22-36 p.

Bravo, K. y Rosero, D. 2011. Evaluación de biomasa aérea y cantidad de Carbono en leñosas perennes. En el Centro Experimental FEDEPAPA, Municipio de Pasto, Departamento de Nariño, Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 10 p.

Benavides. A 2003. Fotosíntesis: diferencias en las vías metabólicas; modificaciones en estructura y fisiología de las plantas C4 y CAM frente a la C3, uso eficiente del agua frente a la asimilación de CO₂.

Casanova, I. Ramírez, a. Solorio s. 2010. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12: 33-41.

Criollo, Hernando, Lagos, Tulio y Ruiz, Hugo. 2000 Calidad de la semilla de maíz utilizada en algunas zonas maiceras de Nariño. En: revista de ciencias agrícolas. Pasto,

Colombia: Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Vol. 17, no.2; p. 65-78.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Tercera Edición. Zapopan, Jalisco, México. 298 p.

Conam, 2001. Primeras comunicaciones del Perú para conservación de las naciones unidas sobre el cambio de climatico. Lima.

Eguren, L. El mercado de Carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas. Santiago de Chile: CEPAL, 2004. 83 p. (Serie Medio Ambiente y Desarrollo).

Esquivel, E. 2005. Uso de suelo y almacenamiento de carbono en dos comunidades del municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 136 pp.

Fisher, M, Rao I M, Ayarza C E, Lascano C E, Sanz J I, Thomas R J and Vera R R 2002 Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature 371: 236-238

García Breijo. F. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Universidad politécnica de valencia. 182 p.

GARCÍA, F.; ROSELLÓ, J.; SANTAMARINA, M. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Editorial de la UPV. Valencia. España. 184 p. pp. 9, 31 – 35.

García, B. H. 2006. Programa de procesos agroindustriales. Corpoica. Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera. Cundinamarca. En: OSORIO, G. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas –BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura –BPM-

En la producción de caña y panela. Corpoica, MANA – Gobernación de Antioquia, FAO. CTP Print Ltda. Colombia. 199 p.

Gordon, R., De Gracia, N., Franco, J., González, A. & Bolaños, J. 1993. Asocio de maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panamá. *In* J. Bolaños *et al.*, eds. Síntesis de resultados experimentales del PRM 1992, vol. 4. Guatemala, CIMMYT-PRM.

IGAC. 2004. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño.

Macdiken, K. 1997. Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International, 1611 N. Kent St. Suite 600, Arlington, 22 (209). USA. 87 p

Mera, A. y Zamora, C. 2003. Establecimiento y evaluación inicial de los arreglos árboles dispersos en asocio con pasto kikuyo en el altiplano de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 15 p.

Musálem S. M. A. 2001. Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 120 p.

Nelson y Cox. 1995. Lenhinger principios de bioquímica. Editorial Omega. Ediciones varias.

Robbert, L. Y Tomas M, 2001. “Ecología” 4a. Edición. Pearson. Madrid España. Publicado por Celeste

Sánchez Téllez M. H, 2005. Cultivo en Callejones: Sistema Alternativo de Producción Sostenible en Zona de Ladera del Oriente Caldense. Corpoica Regional Nueve Creced Magdalena Medio Caldense .Apartado Postal N° 95 La Dorada (Caldas).

Schlönvoigt, A. Chesney, P. Schsller, M. Kanten, R. 2000. Estudios ecológicos de raíces en Sistemas Agroforestales: Experiencias metodológicas en el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2. 1 p.

Segura, M. Y Kanninen, M. 2002. Inventarios para estimar carbono en ecosistemas forestales tropicales. In. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Eds. Orozco, L; Brumér, C. Turrialba, CR. CATIE. 202-22 p.

Segura, M. y Venegas, G. 1999. Tablas de volumen comercial con corteza para encino, roble y otras especies del bosque pluvial montano de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Serie Técnica No. 306. Turrialba, CR, CATIE. 46 p.

Silva P. H. y Caicedo P. C. 2011. Evaluación de la captura de carbono de la biomasa radical en leñosas perennes en el Municipio de Pasto. Universidad de Nariño. Pasto. Colombia.

Zhiping Q, Rao I, Ricaurte J, Amézquita E, Sanz J and Kerridge P C 2004. Root distribution and nutrient uptake in crop-forage systems on Andean hillsides. *Journal of Sustainable Agriculture* 23 (4). 39-50