

**CUANTIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN DIFERENTES
VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN UN SISTEMA
SILVOAGRICOLA EN EL CORREGIMIENTO DE JAMONDINO, MUNICIPIO DE
PASTO**

CHRISTIAN RICARDO ZAMBRANO ROMERO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
PASTO – COLOMBIA**

2015

**CUANTIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN DIFERENTES
VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN UN SISTEMA
SILVOAGRICOLA EN EL CORREGIMIENTO DE JAMONDINO MUNICIPIO DE
PASTO**

CHRISTIAN RICARDO ZAMBRANO ROMERO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO AGROFORESTAL**

PRESIDENTE:

JESÚS GIOVANNY SOLARTE GUERRERO. M.Sc

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

PASTO – COLOMBIA

2015

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

**Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable
Consejo Superior de la Universidad de Nariño.**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma Presidente

Firma Jurado

Firma Jurado

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Nariño

A la facultad de ciencias agrícolas

Al programa de ingeniería agroforestal

A Jesús Giovanni Solarte Msc

A Jorge Fernando Navia PhD

A Carmen Lucia del Castillo Msc

A Jorge Alberto Vélez Msc

A las familias, Zambrano Romero, Guerrero Romero, Rúaless Camacho, Romero Erazo, Solarte Pineda.

A Biofuturo Recursos Naturales.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Jenny Romero Muñoz y Everth Zambrano Muñoz por su brindarme su apoyo incondicional y constante concejo, a mi hermana Lorena Zambrano Romero , a mi hijo Juan Pablo Zambrano Solarte por llenar mis días de felicidad, a Nahary Solarte Pineda por su compañía y cuidado, a mi sobrina Maria Victoria Fajardo Zambrano. Y a todos aquellos compañeros y amigos que han dejado huella a lo largo de mi vida académica y profesional.

**CUANTIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN DIFERENTES
VARIETADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN UN SISTEMA
SILVOAGRICOLA EN EL CORREGIMIENTO DE JAMONDINO MUNICIPIO DE
PASTO**

**CUANTIFICATION OF CARBON STORAGE IN DIFFERENT KINDS OF
POTATOES (*Solanum tuberosum*) IN A FARMING SYSTEM ON
CORREGIMIENTO DE JAMONDINO, PASTO**

CHRISTIAN RICARDO ZAMBRANO R¹

JESÚS GEOVANNY SOLARTE G²

RESUMEN

El estudio se realizó, en el corregimiento de Jamondino, municipio de Pasto, departamento de Nariño, en la finca experimental de fundación del surco Nariño ubicada en las coordenadas 1°10'47.42" latitud N y 77°15'44.60" longitud W, a una altura de 2710 msnm, temperatura promedio de 8°C, precipitación media anual de 831.3 milímetros y humedad relativa entre 72% a 82%. Se establecieron seis (6) tratamientos, con diferentes variedades de (*Solanum tuberosum*) (parda pastusa, roja Nariño y suprema pastusa); tres (3) de ellos bajo un sistema silvoagrícola con aliso (*Alnus acuminata*) y las tres (3) restantes bajo monocultivo. Cada tratamiento se estableció en un área de 196 m², y las distancias de siembra para (*Solanum tuberosum*) fue de 0.5 m entre plantas y 1 metro entre surcos. Por otro lado, el componente arbóreo se implementó a una distancia de 1.5 m entre árboles y 6 m entre hileras. Posteriormente, se seleccionaron 10 plantas de (*Solanum tuberosum*).

¹ingeniero agroforestal; facultad de ciencias agrícolas. Universidad de Nariño 2014.

² MS.c Docente investigador departamento de recursos naturales y sistemas agroforestales Universidad de Nariño 2014.

En cada uno de los seis (6) tratamientos, con intervalos de muestreo de 60 días para un total de tres (3) muestreos. Para determinar la biomasa y el carbono almacenado en los diferentes sistemas se utilizó el método destructivo propuesto por MacDiken (1997). Como resultados se obtuvo que en biomasa no hay diferencias significativas entre las variedades de papa; sin embargo, hay diferencias significativas entre épocas de muestreo siendo mejor la época tres (3) a 180 días con 3.99 Ton/ha. Para carbono se encontró que no hay diferencias significativas entre tratamientos, pero hay diferencias altamente significativas en épocas siendo la mejor la época tres (3) con 1.65 Ton/ha. Finalmente, al aplicar el modelo alométrico de carbono para la especie (*Alnus acuminata*) que se encontraba en un arreglo de cultivos en callejones, propuesto por Bravo y Rosero (2010), se obtuvo que este modelo se ajustó a la información dasométrica de los árboles y se encontró que la mejor época para almacenamiento de carbono es la época siete (7) a los 7 meses del establecimiento con 0.296 Ton/ha.

Palabras claves: dióxido de carbono, fracción de carbono, biomasa

ABSTRACT

The research was made on the corregimiento of Jamondino, Pasto, Nariño under coordinates: 1°10'47.42" North latitude and 77°15'44.60" west longitude. With a height of 2710 most, average temperature about 8°C, half annual precipitation 831.3 mililiters and a relative humidity between 72% and 82%.

It established six (6) treatments, with different kinds of potatoes (*solanum tuberosum*): parda, pastusa, roja Nariño and suprema pastusa; three of them under a farming system with aliso (*alnus acuminata*) and three remaining under monofarming. Each treatment was established on an area of 196 m², and a sowing distance for (*solanum tuberosum*) of 0.5 between plants and 1mt between furrows.

In addition, the arboreal component was implemented to a distance of 1.5 mts between trees and 6mts between rows, after that, 10 plants of (solanum tuberosum) were selected.

In each one of the six (6) treatments, with 60 days sampling intervals, for a total of 3 full samplings. To determine the biomass and carbon storage in the different systems, it was used the destructive method suggested by MacDiken (1997).

As results it was obtained that there's no significative differences in biomass between kinds of potatoes, however, there are significative differences between sampling stages being the best the third stage with 3.99 Ton/ha. For carbon it was found that there's no significative differences between treatments but there's highly significative differences in stages, being the third stage the best with 1.65 Ton/ha.

Finally, after applying the alometric carbon model for the *Alnus acuminata* specie suggested by Bravo and Rosero (2010) it was obtained that this model fits into the dasometric tree information and as result it determinates that the best stage for carbon storage is the seventh stage (7) about seven (7) months later of establishing with about 0.296 Ton/ha.

Keywords: carbon dioxide, carbon fraction, biomass.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	13
2	MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1	Localización	14
2.2	Tratamientos	15
2.3	Diseño experimental	16
2.4	Variables evaluadas	17
2.4.1	Materia seca de los componentes	17
2.4.2	Biomasa de los componentes	18
2.5	Aplicación del modelo alométrico de carbono para (<i>Alnus acuminata</i>)	19
2.6	Análisis estadístico de la información	19
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1	Relación biomasa carbono	20
3.2	Biomasa	20
3.3	Carbono almacenado en <i>Solanum tuberosum</i>	23
3.4	Carbono almacenado en aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	25
4	CONCLUSIONES	28
5	BIBLIOGRAFÍA	29

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. RELACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO ALMACENADO TON/HA EN TRATAMIENTOS CON PAPA (S. TUBEROSUM) Y ALISO (A. ACUMINATA) JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO 2014.	19
TABLA 2. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA BIOMASA DE DIFERENTES VARIEDADES DE PAPA (S. TUBEROSUM) JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO 2014.	21
TABLA 3. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY PARA BIOMASA EN TRES (3) DIFERENTES VARIEDADES DE PAPA (S TUBEROSUM) JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO, 2014.	22
TABLA 4. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA CARBONO ALMACENADO EN (SOLANUM TUBEROSUM) JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO. 2014.	23
TABLA 5. PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TUKEY PARA CARBONO ALMACENADO EN (SOLANUM TUBEROSUM) JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO. 2014.	24
TABLA 6. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA CARBONO ALMACENADO EN ALISO (ALNUS ACUMINATA) JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO. 2014. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 7. PRUEBA DE MEDIAS AJUSTADAS PARA CARBONO EN ALISO (ALNUS ACUMINATA), JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO. 2014. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DISEÑO DE BLOQUES COMPLETOS AL AZAR, DISTRIBUCIÓN DE TRATAMIENTOS. JAMONDINO, MUNICIPIO DE PASTO. 2014. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.6

1 INTRODUCCIÓN

Los aumentos de la concentración mundial de (CO_2), se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en una parte apreciable pero menor, a los cambios de uso de la tierra. Si bien los escenarios, todavía son inciertos, son de esperar serios efectos negativos aunque se esperan también algunos efectos positivos por lo que es esencial que sean tomadas un cierto número de medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa área (IPPC, 2007).

Como medida de mitigación contra el calentamiento global, se han desarrollado alternativas para reducir la contaminación en bosques y prolongar la vida de los ecosistemas; por lo tanto es de gran importancia desarrollar y promover investigaciones encaminadas a cuantificar el carbono, en ecosistemas naturales, plantaciones y sistemas agroforestales para mejorar la calidad del ambiente (Beer *et al*, 2003). Una forma de mitigar los efectos del dióxido de carbono, además de reducir las emisiones, es almacenarlo, el mayor tiempo posible, en la biomasa y el suelo (López. 1998).

El carbono almacenado, es la cantidad que se encuentra en un ecosistema vegetal, en un determinado momento. Se tiene en cuenta el tipo de bosque o vegetación, densidad de la madera, factores de ajuste que se basan en datos de biomasa calculada a partir de volúmenes por hectárea de inventarios forestales. Generalmente, este tipo de Carbono se paga por conservación de bosques y no puede ser liberado a la atmósfera si se accede a un pago por servicios ambientales (Ramírez. 1999).

Según García *et al*, (2006), las plantas utilizan CO_2 y liberan O_2 durante el proceso de la fotosíntesis; por esta razón, se crea una mayor cantidad de masa de la que

es consumida a través de la respiración. Esto sucede esencialmente en las plantas tipo C3, entre las cuales se encuentra la papa (*Solanum tuberosum*), como también en plantas C4 como el maíz (*Zea mays*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), 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. Gordon *et al* (1993).

Esta investigación tuvo como objetivo general cuantificar el almacenamiento de carbono en tres variedades de (*Solanum tuberosum*) bajo un sistema silvoagícola; los objetivos específicos fueron determinar la biomasa aérea y subterránea de tres (3) variedades de papa, pastusa suprema, roja Nariño y parda pastusa, determinar la capacidad de almacenamiento de carbono de las tres (3) variedades y finalmente comparar la cantidad de carbono almacenado. Tanto en asocio con aliso (*Alnus acuminata*), y en monocultivos con las mismas variedades.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización:

El estudio se realizó en la finca experimental Del Surco Nariño, en el corregimiento de Jamondino, municipio de Pasto, departamento de Nariño, localizado a 1°10'47.42" latitud N y 77°15'44.60" longitud W, a una altura de 2710 msnm, con una temperatura promedio de 8°C, una precipitación media anual de 831.3 milímetros y una humedad relativa entre 72% a 82%. (Alcaldía municipal de Pasto 2007).

2.2 Tratamientos:

Para el desarrollo de esta investigación se establecieron seis (6) tratamientos con tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*).

T1: (*A. acuminata*) y (*S. tuberosum*) variedad parda pastusa en sistema silvoagrícola.

T2: (*A. acuminata*) y (*S. tuberosum*) variedad roja Nariño en sistema silvoagrícola.

T3: (*A. acuminata*) y (*S. tuberosum*) variedad parda pastusa en monocultivo.

T4: (*S. tuberosum*) variedad pastusa suprema en sistema silvoagrícola.

T5: (*S. tuberosum*) variedad roja Nariño en monocultivo.

T6: (*S. tuberosum*) variedad pastusa suprema en monocultivo.

2.3 Diseño experimental:

Figura 1. Diseño de bloques completos al azar, distribución de tratamientos. Jamondino, municipio de Pasto. 2014.



Fuente: Esta investigación (2014).

Cada tratamiento se estableció en un área de 196 m². Las distancias de siembra para (*Solanum tuberosum*) fueron de 1m entre surcos y 0.5 m entre plantas, para una densidad de 392 plantas en los tratamientos de monocultivos. En los sistemas

silvoagrícola, el componente arbóreo se implementó a una distancia de 6m entre hileras y 1.5m entre arboles con una densidad de 21 árboles. Los tratamientos fueron distribuidos en el área de estudio utilizando un diseño estadístico bloques completos al azar.

Por otra parte, para determinar biomasa y carbono, se aplicó el método destructivo propuesto por MackDiken (1997), donde se seleccionaron diez (10) plantas de papa (*S. tuberosum*), en cada uno de los seis tratamientos, con intervalos de muestreo de 60, 120 y 180 días para un total de 3 muestreos. El método destructivo consiste en extraer la planta en su totalidad, clasificarla por componentes (hojas, ramas, tallo, raíz) para determinar el peso total verde (PTV) por componentes.

2.4 Variables evaluadas:

2.4.1 Materia seca de los componentes:

para determinar el peso seco de los componentes, se llevó al laboratorio una muestra de 500 gr de cada planta a un horno con una temperatura de 76°C por un periodo de 48 horas hasta alcanzar un peso constante (Segura y Kanninen, 2002). Además, se determinó la fracción de carbono por el método termo gravimétrico Walkley Black, que se basa en el tratamiento de la muestra con dicromato de potasio que actúa como oxidante, en un medio de ácido sulfúrico concentrado. El calor desprendido por la reacción exotérmica, favorece la oxidación de la materia orgánica por el dicromato. Se desarrolla un color verde por el ácido crómico reducido, el cual es proporcional al carbono orgánico, que se puede cuantificar colorimétricamente a 585 nm.

Posteriormente, para determinar el porcentaje de materia seca de las muestras se aplicó la ecuación propuesta por Segura y Kanninen (2002):

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

Dónde:

MS: porcentaje de materia seca.

PSM: peso seco de la muestra (g)

PFM: peso fresco de la muestra en campo (g).

2.4.2 Biomasa de los componentes:

La biomasa se calculó multiplicando el porcentaje de materia seca por el peso fresco del componente de la planta estudiada, aplicando la ecuación recomendada por Segura y Venegas (1999).

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

Dónde:

Bc: Biomasa del componente (g.)

PFC: Peso fresco en campo (g.)

MS (%): porcentaje materia seca.

Finalmente, se determinó el carbono almacenado en Ton/ha, partiendo de la fracción de carbono obtenida del laboratorio bajo el método Walkley Black, para estimar el carbono almacenado en las diferentes variedades se empleó la ecuación recomendada por Ávila (2000).

$$CA = Bt * FC$$

Dónde:

CA: Carbono almacenado (g.)

Bt: Biomasa total (g.)

FC: fracción de carbono

2.5 Aplicación del modelo alométrico de carbono para (*Alnus acuminata*).

Para determinar el carbono almacenado en (*Alnus acuminata*) a través de modelos alométricos, se realizaron mediciones dasométricas mensuales durante el ensayo para un total de siete (7) mediciones por individuo; posteriormente se remplazaron en el modelo propuesto por Bravo y Rosero (2010), ($Ca = -0.0824991 + 0.00102437 * A + 0.0789202 * D$), el cual se ajustó a las condiciones de esta investigación y a las características de los árboles tanto en altura como en diámetro.

2.6 Análisis estadístico de la información:

Para el análisis estadístico de esta investigación se realizó un modelo de varianza con los datos de biomasa y carbono, tomándolos por tratamientos y por épocas, es decir por muestreo tanto del cultivo como de los árboles, cuando se presentaron diferencias significativas se ejecutó la prueba de comparación de Tukey, para este análisis se utilizó el programa INFOSTAT 2010.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Relación de biomasa y carbono almacenado Ton/ha en tratamientos con papa (*S. tuberosum*) y aliso (*A. acuminata*) Jamondino, municipio de Pasto 2014.

TRATAMIENTO	BIOMASA TON/HA	CA TON/HA
1	1,5125	0,9354
2	1,7231	0,9955
3	1,2618	0,5295
4	2,6754	1,4134
5	1,9611	0,7962
6	2,2879	0,9556

Fuente: Esta investigación (2014).

3.1 Relación biomasa carbono:

En la (tabla 1), se observa que los tratamientos con mayor cantidad de biomasa fueron el cuatro (4) y el seis (6), con 2.67 ton/ha y 2.28 ton/ha respectivamente; por otra parte el almacenamiento de carbono tuvo un comportamiento diferente ya que este se presentó en mayor cantidad en los tratamientos que corresponden a sistemas silvoagricolas, con 1.41 ton/ha y 0.99 ton/ha. Debido a la presencia del componente arbóreo, el cual, aporta cantidades importantes de carbono, ya que este componente presenta una alta cantidad de biomasa.

Los resultados obtenidos por Arboleda (2011), muestran que el arreglo en monocultivo de (*Zea mays*) acumulo 11.9 ton/ha de carbono, mientras que el arreglo de cultivos en callejones de maíz asociado con (*A. decurrens*), de 12 meses de edad; lo que contrasta con los resultados de esta investigación debido que los arboles contaban con 7 meses de edad, y a esta edad los requerimientos de nutrientes son menores, además que el porte bajo de los arboles permite una mayor entrada de luz a los cultivos asociados con este componente.

3.2 Biomasa:

En la (tabla 2), que corresponde al análisis de varianza para la biomasa en ton/ha no muestra diferencias estadísticas para tratamientos. No obstante, se observan diferencias altamente significativas para épocas ($p=0.0001$).

Tabla 2. Análisis de varianza para biomasa de diferentes variedades de papa (*S. tuberosum*) Jamondino, municipio de Pasto 2014.

Variable	N	R	R Aj		CV
BIOMASA TON/HEC	18	0.87	0.78		45.24
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo.	49.68	7	7.10	9.55	0..0010
TRATAMIENTO	4.01	5	0.80	1.08	0.4276
ÉPOCA	45.67	2	22.83	30.72	0.0001
Error	7.43	10	0.74		
Total	57.11	17			

Fuente: Esta investigación (2014).

Sin embargo en la (tabla 3), la prueba de comparación de medias de Tukey muestra que el mejor comportamiento lo registra la época tres (3) correspondiente a 180 días del cultivo con 3.99 ton/ha, ya que en esta etapa del cultivo se cuenta con una gran cantidad de tubérculos que albergan hasta el 85% de la materia seca de la parte aérea de la planta, cuando el crecimiento del follaje comienza a ser más lento y la tasa de senescencia de las hojas se incrementa, el follaje alcanza su máximo tamaño y comienza a declinar, en este momento se presenta la fase de máximo crecimiento de los tubérculos (Abbasi, 2009). En un rendimiento intermedio se encuentra la época dos (2) propia de 120 días con 1.59 ton/ha, finalmente la época uno (1) 60 días de cultivo tuvo el menor desempeño en biomasa con 0.13 ton/ha.

Tabla 3. Prueba de comparación de medias de Tukey para biomasa en tres (3) diferentes variedades de papa (*S. tuberosum*) Jamondino, municipio de Pasto, 2014.

Error 0.7433 gl: 10						
ÉPOCA	Medias	n	E. E.			
3.00	3.99	6	0.35	A		
2.00	1.59	6	0.35		B	
1.00	0.13	6	0.35			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para Abbasi (2009), la mayor concentración de biomasa en el cultivo de *S. tuberosum* se da en la última estación de crecimiento que si es lo suficientemente larga, el follaje muere totalmente en forma natural, y sus azúcares y nutrientes minerales son re movilizados y transportados hacia los tubérculos. El crecimiento de los tubérculos continúa hasta que el follaje está casi totalmente muerto, al final del ciclo entre el 75 y 85 % del total de la materia seca producida por el cultivo se encuentra en los tubérculos.

Arboleda (2011), en su investigación muestra que a pesar que el maíz (*Zea mays*) es una planta C4 a diferencia de la papa (*S. tuberosum*) que es una planta C3, necesitan de una cantidad considerable de luz para un óptimo crecimiento de biomasa y al asociarla con otra especie para este caso acacia (*Acacia decurrens*) no presentaron diferencias en cantidades de biomasa frente al monocultivo de maíz (*Z. mayz*), que difiere con lo mencionado por Nelson y Cox (1995). Quienes afirman que las plantas C4, obtienen un buen desarrollo con altas cantidades de luz.

Para Robbertet *al*, (2001), las plantas C4 no muestran ningún síntoma de saturación de luz, por lo cual pueden hacer mejor uso de las intensidades de luz, que relacionado a los arreglos de cultivos en callejones de esta investigación, la

corta edad de los árboles, 7 meses no incidió en la entrada de luz y en la competencia por requerimientos de nutrientes; a pesar de estas adaptaciones las plantas C4 no son más tolerantes al estrés hídrico severo que las plantas C3; el mecanismo C4 es una adaptación dirigida al aprovechamiento eficiente del agua para la transformación en biomasa.

3.3 Carbono almacenado en *Solanum tuberosum*:

en la (tabla 4) que corresponde al análisis de varianza para el carbono almacenado en (*Solanum tuberosum*) revelo que no hay diferencias significativas entre los seis (6) tratamientos de la investigación. Por el contrario, en las épocas de muestreo de carbono se presentan diferencias altamente significativas ($p=0.0001$).

Tabla 4. Análisis de varianza para carbono almacenado en (*Solanum tuberosum*) Jamondino, municipio de Pasto. 2014.

Variable	N	R	R Aj		CV
BIOMASA TON/HEC	18	0.86	0.75		47.99
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo.	8.57	7	1.22	8.48	0.0016
TRATAMIENTO	0.75	5	0.15	1.04	0.4449
ÉPOCA	7.81	2	3.91	27.06	0.0001
Error	1.44	10	0.14		
Total	10.01	17			

Fuente: Esta investigación (2014).

En la (tabla 5). Observamos la prueba de comparación de medias de Tukey para carbono en papa, muestra que hay tres niveles definidos en cuanto a las épocas de muestreo siendo la época tres (3) la que mayor cantidad de carbono almacenado con 1.65 ton/ha, seguida de la época dos (2) con 0.67 ton/ha, y por último la época uno (1) con 0.05 ton/ha.

Tabla 5. Prueba de comparación de medias de Tukey para carbono almacenado en (*Solanum tuberosum*) Jamondino, municipio de Pasto. 2014.

Error 0.1444 gl: 10						
ÉPOCA	Medias	N	E. E.			
3.00	1.65	6	0.16	A		
2.00	0.67	6	0.16		B	
1.00	0.05	6	0.16			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los datos muestran que la época con mayor carbono es la tres (3) debido a la cantidad de biomasa presente en la planta Según. Montero (2004), las diferencias de biomasa aumentan de manera proporcional al diámetro de la planta, al aumentar el diámetro hay mayor biomasa en raíz, ramas y hojas. Por lo anterior la época tres (3) presentó mayor almacenamiento de carbono debido a que tuvo mejor desarrollo en cuanto a diámetro, altura y presencia de tubérculos. De acuerdo con Mac Diken (1997) la cantidad de carbono es directamente proporcional a la biomasa de la planta, es por esto que las épocas uno (1), y dos (2) no presentaron un alto almacenamiento de carbono.

Los resultados obtenidos por Arboleda (2011) reportan que no hay diferencias significativas en almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales como los cultivos en callejones con plantas C4 y monocultivos con la misma planta, resultados que se asemejan a los obtenidos en papa con aliso en el mismo arreglo agroforestal, con la diferencia que se encontró variaciones en el almacenamiento de carbono en las épocas de muestreo. AttaKraK y Kang. (1993). Consideran que los cultivos C4 que se asocian en este tipo de arreglos pueden aprovechar diferentes recursos y pueden interactuar positivamente entre ellos mismos.

3.4 Carbono almacenado en aliso (*Alnus acuminata*):

En la (tabla 6) que corresponde al análisis de varianza para el carbono almacenado muestra que no hay diferencias significativas entre los tres (3) tratamiento que contenían árboles en un arreglo silvopastoril con papa, pero muestra diferencias significativas entre épocas de muestreo del componente leñoso ($p= 0.0001$).

Tabla 6. Análisis de varianza para carbono almacenado en aliso (*Alnus acuminata*) Jamondino, municipio de Pasto. 2014.

Variable	N	R	R Aj		CV
BIOMASA TON/HEC	21	0.92	0.87		2.69
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo.	6931.44	8	866.43	17.66	0.0001
TRATAMIENTO	245.52	2	122.76	2.50	0.1236
ÉPOCA	6685.92	6	1114.32	22.71	0.0001
Error	5.88.88	12	49.07		
Total	7520.32	20			

Fuente: Esta investigación (2014).

En la (tabla 7). La prueba de medias ajustadas muestra un crecimiento ascendente del carbono a medida que avanzan las épocas siendo la época siete (7) la mejor con 0.296 ton/ha, seguida de la época seis (6) con 0.268 ton/ha, a continuación esta la época cinco (5) con 0.264. Ton/ha, posteriormente se encuentra la época cuatro (4) con 0.259 ton/ha, la época tres aparece con 0.253.Ton/ha, la época dos (2) con 0.244 ton/ha, y finalmente la época uno (1) con 0.237 ton/ha.

Tabla 7. Prueba de medias ajustadas para carbono en aliso (*Alnus acuminata*), Jamondino, municipio de Pasto. 2014.

Error: 49.0731 gl: 12			
ÉPOCA	Medias	n	E.E.
7.00	0.296	3	4.04
6.00	0.268	3	4.04
5.00	0.264	3	4.04
4.00	0.259	3	4.04
3.00	0.253	3	4.04
2.00	0.244	3	4.04
1.00	0.237	3	4.04

Fuente: Esta investigación (2014).

En la aplicación del modelo alométrico de Bravo y Rosero (2010), se encontró que los datos obtenidos en esta investigación se ajustan a los encontrados en dicho estudio, en cuanto a carbono almacenado con relación a la altura y el diámetro de los árboles.

De la misma manera, Bravo y Rosero, (2010), con sus estudios realizados en cinco especies vegetales arbóreas, en donde afirman que la (*Acacia decurrens*) produjo 2,6Ton/hade biomasa seca y 1,4 Ton/ha de carbono y (*Alnus acuminata*) obtuvo 5,1 Ton/ha en biomasa seca y 2,7 Ton/ha de carbono, afirmando que a mayor cantidad de biomasa, mayor carbono almacenado para cualquier especie forestal.

Acosta y Tupaz. (2007), encontraron que cultivos en callejones frente a arboles dispersos con aliso (*A. acuminata*), el mejor comportamiento en biomasa y carbono almacenado lo tuvo el arreglo cultivos en callejones con 2.41 ton/ha de biomasa y el contenido de carbono almacenado fue de 1.2 ton/ha, seguido de

árboles dispersos con 0.647 ton/ha de biomasa y 0.323 ton/ha de carbono almacenado, Esto se explica fisiológicamente por medio de la fotosíntesis cuando las plantas absorben energía solar y CO₂ de la atmósfera que sirve de base para su crecimiento, fijan el carbono en la biomasa, y consecuentemente constituyen madera muerta y hojarasca, como lo afirma (Rugnitz, et al 2009).

Estudios realizados por Casanova *et al.* (2010) donde estimaron el almacenamiento de carbono en biomasa aérea, radicular y hojarasca entre bancos forrajeros con especies C4 (dos en monocultivo y uno mixto), los resultados demostraron que los bancos forrajeros en monocultivo almacenaron la mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea con 10.4 ton/ha y radical con 6.1 ton/ha. Sin embargo, el banco de forraje mixto acumulo la mayor cantidad de carbono en la hojarasca con 1.6 ton/ha frente a los monocultivos con 1ton/ha. De la misma forma observaron que el carbono total depende altamente del arreglo de la plantación puesto que la cantidad de carbono almacenado en el banco forrajero mixto fue 28.1% menor que los bancos forrajeros en monocultivo.

Aunque los métodos directos son los más comunes ya que tradicionalmente se han usado para la determinación de la biomasa y carbono almacenado en árboles, (Monteset al., 2000; Zianis Y Mencuccini, 2004). No se adecuan al medio ambiente natural pues llevan implícita la tala de muchos árboles y mayores requerimientos de tiempo y laboriosidad para su procedimiento. Por otra parte, la incertidumbre generada mediante técnicas de teledetección es reconocida en varios estudios, siendo así la implementación de métodos indirectos a partir de mediciones dasométricas precisas, una alternativa adecuada para la estimación de la biomasa en áreas destinadas a la conservación, donde existen restricciones para la tumba de árboles y se requieren resultados con bajo margen de error (Musalen. 2001).

4 CONCLUSIONES

Los tratamientos se comportaron de manera similar en cuanto a la cantidad de biomasa, por el contrario se obtuvo que la época tres (3) presentó mayor cantidad de biomasa con 3.99 ton/ha.

Para el carbono almacenado se encontró que los tratamientos se comportaron de igual forma, por otra parte la mayor cantidad de carbono se concentró en la época tres con 1.65 ton/ha.

El modelo alométrico seleccionado para calcular el carbono en el componente forestal se ajustó a las características y condiciones de los árboles de esta investigación.

5 BIBLIOGRAFÍA

ABBASI, N, A. HUSSAIN, M. MAQBOOL, I. HAFIZ and A. QURESHI. 2009, Encapsulated calcium carbide enhances production and postharvest performance of potato (*Solanum tuberosum*) tubers. A new Zeland Crop and Hort. Science.37:131–139

ACOSTA Y TUPAZ 2007. Cuantificación de la captura de carbono por la biomasa aérea de aliso (*Alnus jorullensis h b k*) en dos arreglos experimentales en la granja experimental botana, en el municipio de Pasto departamento de Nariño.

ALCALDÍA DE PASTO; 2003; Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Pasto.

ANDRADE, H; SEGURA, M; SOMARRIBA, E; VILLALOBOS. M. En preparación. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao.

ANDRASKO, K, 1999. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques, estado actual de los conocimiento. UNASYLVA, 41; 163 p.

AÑAZCO, M. El Aliso (*Alnus acuminata*). Quito Ecuador: Proyecto Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador, 1996. 7 p.

ÁVILA, G. 2001. Almacenamiento, Fijación de Carbono y Valoración de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales en Costa Rica. Avance de Investigación. Agroforesterías en las Américas Vo. 8, No. 30 2001. CATIE, Costa Rica.

BATTLE, M. 2000. Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric o₂.

BROWN, S; GILLESPIE, A; LUGO, A. 1999. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forestscience 4 (35): 881-902.

CABRERA Y MOSQUERA. 2007. Estimación de biomasa aérea y captura de carbono en el componente arboreo de árboles dispersos en potreros con motilón silvestre (*freziera canenscens*). En el corregimiento de Cabrera municipio de Pasto departamento de Nariño.

CALDIZ, D, L. FERNANDEZ AND P. STRUIK. 2001. Physiological age index: a new, simple and reliable index to assess the physiological age of seed potato tubers based on the haulm killing date and length of the incubation period. Field Crop. Res. 69,69–79

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP). 2000. Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas. Centro Internacional de la papa (CIP), Lima, Perú. 27 p.

CUBERO, J; ROJAS, S. 1999. Fijación en plantaciones de melina (*gmelina arborea*), teca (*teutona grandisl.f*) y pachote (*bombacopsis quinatajacq*) en los cantones de hojanca y nicoya, guanacaste, costa rica. Tesis Ic. Cs. for. Concentración de manejo forestal. Heredia, costa rica. Universidad nacional. P 95.

DIXON 1995. ROBERT, K.. Sistemas agroforestales y gases invernadero; Agroforestería de las Américas. 7: 22-26.

FEDERACION COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. 1.997. Vademécum del cultivo de la papa. Generalidades sobre el cultivo y guía técnica sobre insumos. Bogotá {a. D.C. 172 p.

FORERO, L; ORDOÑEZ, H. Y FORERO, F. el calentamiento climático, el carbono y los bosques. En: revista de ciencias agrícolas, universidad de Nariño. Pasto. Vol. 17, no. 1 (2000); p. 258 – 271.

FRAGOSO LOPEZ, P. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa cerera del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro, Michoacán, México. Michoacán, 2003, 77 p.

FRANSGEILFUS 1994. El arbol al servicio del agricultor, manual de agroforesteria para el desarrollo rural, vol 1 Principios y tecnicas, Turrialba Costa Rica, CATIE, Costa Rica, 342 P.

GORDON. R. GRACIA. N. 1993. Asocio de maíz con canavalia a distintas épocas y arreglos de siembra en Azuero, Panamá.

HOUGHTON J, MEIRAFILHO LG, BRUCE J, HOESUNG L, Callanderba, Haites e, Harris n, maskell k (1995) en climate change 1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the ipcc is92 emission scenarios. Cambridge universitypress, Cambridge. pp. 58-66.

IPCC 2000 (sigla en inglés del panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático). Artículos 1.3 y 1.4.

IPCC, 2007: cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo i, ii y iii al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático [equipo de redacción principal: pachauri, r.k. y reisinger, a. (directores de la publicación)]. Ippc, ginebra, suiza, 104 p.

KAUFMANN, R. 2004. The effect of growing season and geophysical research letters 31: 346-351.

KURSTEN, E; BURSSHEL; p. 1993. co2 mitigation by agroforestry. Water, air and soil. Pollution 70: 533-544.

LÓPEZ S. E., MUSÁLEM S. M. A. 2007. Sistemas agroforestales con cedro rojo, cedro nogal, y primavera, una alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en los Tuxtlas, Veracruz, México. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, enero-junio, año/vol. 13, número 001 Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 59-66.

LÓPEZ T. G. 2007. Sistemas agroforestales 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-gradados. Puebla. 8 p.

MACDICKEN, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, US, Winrock International. 87 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2010. Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. En: <http://www.sioc.gov.co/documentosP.aspx>. Consultada en febrero de 2013.

M.R. CORTEZ, G. HURTADO (2002). Guía Técnica: Cultivo de la Papa. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, San Salvador, El Salvador

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.

NAIR, P. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic 499 p.

PANDEY, D. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. Climate policy 2: 367-377.

PEÑA, L.; 2000. Fisiología y manejo de tubérculos – semilla de papa. CORPOICA, Cl. Obonuco. Boletín divulgativo. 9p.

RAITSOS, D. 2005. Extending the seawifs chlorophyll data set back 50 years in the northeast atlantic, geophysical research letters, I06603.

RAMÍREZ, O; RODRÍGUEZ, L, FINEGAN, B; GÓMEZ, m. 1999. Implicaciones económicas del secuestro del co2 en los bosques naturales. Revista forestal centroamericana 2 (27):10-16.

SAGE, L. F. Y SÁNCHEZ, o. evolución esperada para el mercado de pago de servicios ambientales en costa rica. En: revista forestal centroamericana. nº. 37,2002; 72 – 73

SEGURA, M. 1999. Valoración del servicio de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados en el área de conservación cordillera volcánica central, costa rica. Tesis Mag Sc. CATIE, Turrialba. Costa Rica. 120 P.

SHUTTLEWORTH problemas de la tierra por la deforestación: EEUU. 657 pag. 1989

SNOWDON *et al.* Protocol for sampling tree and stand biomass. En: National carbon accounting system technical report, no. 3. Australia: Greenhouse Office, 2001. 114 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA 2005. Grupo de investigacion en papa, Selección clonal de la población de morfo tipos de tubérculos redondos amarillos colombianos de *S. phureja*.

VELEZ, G.; MORENO, F. 1993. Principios de agrosilvicultura. Crónica forestal y del medio ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Postgrado en silvicultura y manejo de bosques. Julio, No.8: 43-57.

WOODS holeresearch center (whrc) 1998.ciclo global del carbón. el centro de investigación Woods hole.