

EFFECTO DE LAS CERCAS VIVAS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* Lam.) EN ZONA ALTA ANDINA DE NARIÑO

Living fences effect on the potato productive system (Solanum tuberosum Lam.) in the high andean area of Nariño

Jorge Fernando Navia Estrada. PhD^{1*}; Orlando Benavides Benavides. PhD¹ y Fernando Vicente Barraza Álvarez. PhD²

¹I.A. Profesor Asociado. Facultad Ciencias Agrícolas,
Universidad de Nariño.

²I.A. Profesor titular. Facultad Ciencias Agrarias,
Universidad de Montería, Córdoba.



Recibido 21 de mayo de 2018.
Aceptado 3 de octubre de 2018.

Resumen

El estudio se realizó en el municipio de Pasto, Nariño, ubicado a 1°5'38.17" latitud norte y 77°15'42.72" longitud oeste. Se evaluó los posibles efectos generados por las cercas vivas en el sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam). En donde se analizaron las variables del componente leñoso (identificación de especies, determinación de altura de los árboles y/o arbustos y su tipo de copa). Del componente agrícola se analizó las variables días de emergencia de brotes a la superficie (DEB), número de brotes (NB), altura de plantas (A), días a floración (DF), número de tubérculos (NT) y rendimiento. Los resultados indicaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para la interacción tipos de cercas vivas por distancias en las variables días de emergencia de brotes a la superficie del suelo, días a floración, número de tubérculos y rendimiento y diferencias significativas ($p < 0,05$) para las variables de número de brotes y altura de plantas. El número de días de emergencia y el número de brotes en la superficie del suelo se reduce al incrementarse la distancia de la cerca viva y el número de tubérculos al igual que el rendimiento es mayor cuando la planta se encuentra más alejada del arreglo agroforestal.

Palabras claves: Sistema silvoagrícola, interacción, sombra, fotosíntesis

Abstract

The study was carried out in the municipality of Pasto, Nariño, located at 1°5'38.17" north latitude and 77°15'42.72" west longitude. The possible effects generated by living fences in the potato production system (*Solanum tuberosum* Lam) were evaluated. The variables of the woody component were analyzed (species identification, height determination of trees and / or shrubs and their type of canopy). Moreover the variables of the agricultural component were investigated. These are the days of emergence of shoots to the surface (DEB), number of shoots (NB), height of plants (A), days to flowering (DF), number of tubers (NT) and yield. The results indicated highly significant differences ($p < 0.01$) for the interaction types of live fences by distances in the variables emergency days of shoots to the surface of the soil, days to flowering, number of tubers and yield and significant differences ($p < 0.05$) for variables of number of shoots and plant height. The number of emergency days and the number of shoots on the surface of the ground is reduced by increasing the distance of the living fence. The number of tubers as well as the yield is greater when the plant is further away from the agroforestry arrangement.

Key words: Silvoagrícola system, interaction, shadow, photosynthesis

Autor para Correspondencia*:
jornavia@gmail.com

Como citar:

Navia Estrada, Jorge Fernando. et al.. 2018. Efecto de las cercas vivas en el sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam.) en zona alta andina de Nariño. Revista Facultad Ciencias Agropecuarias – FAGROPEC. Universidad de la Amazonia, Florencia – Caquetá. 10(2). Pp. 78-86

Introducción

Dentro de los principales países productores de papa en el año 2008, Colombia ocupó el puesto N° 24 con una producción de 2.372.862 ton (FINAGRO, 2009), el área sembrada de este cultivo para 2010, fue de 64.854 hectáreas con un total de unidades productoras de 101.112. El cultivo de papa en Colombia registró una producción de 796.481 ton, resultado de la cosecha de 47.113 ha (Corporación Colombiana Internacional "CCI", 2010). Aproximadamente el 90% de la producción comercial de papa se concentra en los departamentos de Cundinamarca (35%), Boyacá (30%), Nariño (15%) y Antioquia (10%) y el porcentaje restante se distribuye en las zonas de Caldas, Tolima, Santanderes y otras zonas de menor importancia (FINAGRO, 2009). En Nariño, el área sembrada en el semestre A de 2010 fue de 16.408 ha, con un área cosechada de 12.742 ha que constituye el 25,04% del total nacional, para un total de 36.676 unidades productoras (CCI, 2010).

En el municipio de Pasto, los sistemas de producción agrícola presentan problemas de degradación y de baja productividad. Altieri y Nicholls (2001), manifiestan que la expansión de los monocultivos a expensas de la diversidad vegetal, está causando desequilibrios que se manifiestan con brotes recurrentes de plagas y enfermedades, erosión del suelo, contaminación de aguas, entre otros. Puede que los monocultivos provean temporalmente ventajas económicas para los agricultores, pero a largo plazo no representa un óptimo ecológico.

Ante las anteriores circunstancias, los sistemas agroforestales se constituyen en una alternativa para el manejo de los recursos naturales imitando sus procesos y la sostenibilidad y este uso de analogías naturales sugiere un principio para el diseño de sistemas de producción que utilicen de forma efectiva la luz solar, los nutrientes del

suelo, la lluvia y los recursos biológicos, por lo tanto, es importante conocer el tipo de interacciones que se presentan en los diversos componentes del sistema, ya que estos se encuentran dentro del mismo perfil del suelo. (Casanova *et al*, 2007).

Al respecto, Botina y Bravo (2008), implementaron un arreglo agroforestal de Laurel de Cera (*Morella pubescens* H&B ex Willd Wilbur) asociado con Watsimba (*Tigridia pavonia*) a diferentes distancias de siembra con un diseño de bloques completos al azar de siete tratamientos (T1: Laurel de Cera a una distancia de 6 x 6m; T2: Laurel a 6 x 6m y Watsimba a una distancia de 20 x 60cm; T3: Laurel a 6 x 6m y Watsimba a una distancia de 25 x 60cm; T4: Laurel a 6 x 6m y Watsimba a una distancia de 30 x 60cm; T5: Monocultivo de Watsimba a una distancia de 20 x 60cm; T6: Monocultivo de Watsimba a una distancia de 25 x 60cm y T7: Monocultivo de Watsimba a una distancia de 30 x 60cm) y tres repeticiones, reportando que el rendimiento de los T5, T6 y T7 en donde la Watsimba estuvo en monocultivo, a pesar de que existió mayor número de plantas por superficie de terreno, los rendimientos fueron inferiores con respecto al T2, debido a que en este último pudo existir la influencia del componente forestal por la sombra, mejor incorporación y aprovechamiento de nutrientes que beneficiaron a *Tigridia pavonia*, y por ende repercutieron en mayor peso del bulbo.

Ramírez y Vélez (2002), evaluaron el arreglo agroforestal laurel de cera monocultivo (T1); laurel intercalado con papa (T2) y ajo (T3) y determinaron algunos parámetros químicos y físicos del suelo; además de conocer el efecto del componente agrícola en el sistema., donde el diseño estadístico fue de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. En el arreglo laurel de cera/papa (T2) se encontró diferencias estadísticamente significativas para altura de planta y profundidad efectiva de la raíz, encontrándose que plantas muestreadas lejos del árbol presentan los mayores promedios. La productividad (Ton/ha) de los sistemas, no mostro diferencias estadísticas significativas.

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar el efecto de las cercas vivas en el sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam) en una Variedad de papa en una zona del municipio de Pasto.

Metodología

La investigación se realizó en el municipio de Pasto, corregimiento Santa Barbará a una altura de 3133 m.s.n.m., ubicada a 1°5'38.17" latitud norte y 77°15'42.72" longitud oeste. La precipitación según estación pluviométrica del Río Bobo tiene un comportamiento bimodal con periodos húmedos comprendidos entre los meses de marzo a mayo y

octubre a diciembre con máximos en octubre de 103 mm y abril de 99 mm, mínimos de 49 mm en agosto y 70 mm en febrero, su precipitación media anual es de 949 mm (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

En el área de la cuenca alta del Río Bobo no existen registros de temperatura, pero dada su condición de régimen andino tiene similitud con los valores registrados por la estación de Botana, que en el año 2009 (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM", 2010) reporta valores medios mensuales de temperatura así: medios de 12,46°C; máximos de 21,2°C y mínimos de 5,8°C. Según Holdrige (1982) pertenece a una zona de vida bosque seco montano bajo (bsMB).

Descripción de tratamientos

Se trabajó con cuatro tipos diferentes de cercas vivas, es decir, arreglos conformados por distintas especies arbóreas o arbustivas con diferentes características dendrométricas frente al monocultivo y se realizaron evaluaciones a variables morfológicas del componente agrícola (*Solanum tuberosum* Lam, Variedad Diacol Capiro) a distancias de siembra de 1 metro, 3 metros y 6 metros las cercas vivas (Tabla 1).

El área, definida para el seguimiento del sistema productivo de papa dentro de las fincas seleccionadas con los diferentes tipos de cercas vivas y el monocultivo fue de 60 m², donde se determinaron 9 surcos dispuestos en sentido perpendicular a la cerca viva; en cada surco se realizó la evaluación a 15 plantas para un total de 135 plantas ubicadas en el área de estudio.

Variables evaluadas en el componente leñoso

- Altura de árbol y/o arbusto: Se determinó utilizando el Hipsómetro de Merrit a cada una de las especies que componían la cerca viva. Para esto, se ubicó el instrumento a una distancia de 10 metros de cada individuo a medir, logrando visualizar al componente leñoso desde la base hasta el ápice.
- Identificación de especies: Se tomaron muestras para su posterior identificación en el herbario de la Universidad de Nariño (PSO).
- Tipo de copa: Se identificó mediante observación teniendo en cuenta criterios como las figuras geométricas.

Variables evaluadas en el componente agrícola bajo el sistema silvopastoril

La evaluación se realizó a las 135 plantas presentes en el área de estudio ubicadas en los 9 surcos.

Tabla 1. Identificación taxonómica de los tipos de cercas vivas en el sistema productivo de papa en la vereda Jurado, municipio de Pasto

Tipo de cerca viva	Nombre común	Nombre científico	Familia	Promedio altura (m) (Cerca viva)
1	Chilca	<i>Baccharis odorata</i> H.B.K	Asteraceae	5,4
	Colla	<i>Bubleya coriacea</i>	Asteraceae	
	Mora	<i>Rubus bogotensis</i> H.B.K	Rosaceae	
	Pelotillo	<i>Viburnum triphyllum</i>	Caprifoliaceae	
	Amarillo	<i>Centrolobium paraense</i>	Fabaceae	
	Cucharo	<i>Myrsinamacrogemma</i>	Myrsinaceae	
2	Flor de mayo	<i>Tibouchina mollis</i> Bonpl	Melastomataceae	6,5
	Mora	<i>Rubus bogotensis</i> H.B.K	Rosaceae	
	Pelotillo	<i>Viburnum triphyllum</i>	Caprifoliaceae	
	No registra	<i>Wedelia latifolia</i> DC	Asteraceae	
	Encino	<i>Weinmanniarollottii</i> Killip	Cunoniaceae	
3	Pino	<i>Pinussylvestris</i> L.	Pinaceae	5,3
	Flor de mayo	<i>Tibouchina mollis</i> Bonpl	Melastomataceae	
	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	Betulaceae	
	Pelotillo	<i>Viburnum triphyllum</i>	Caprifoliaceae	
	No registra	<i>Clibadiumeggersis</i>	Asteraceae	
	Mano de oso	<i>Oreopanax floribundum</i>	Araliaceae	
	No registra	<i>Centrolobium paraense</i>		
	Laurel	<i>Morella pubescens</i>	Boraginaceae	
Moquillo	<i>Saurauia pruinosa</i>	Actinidaceae		
4	Escobillón	<i>Callistemon speciosus</i>	Myrtaceae	7
	Ciprés	<i>Cupressus semipervirens</i>	Cupresaceae	
	No registra	<i>Clibadium eggertii</i>	Asteraceae	
	No registra	<i>Wedelia latifolia</i> DC	Asteraceae	
	Pumamaque	<i>Scheffleramarginata</i>	Araliaceae	
5	Monocultivo			

- Días a emergencia de brotes en la superficie (DEB): Se contabilizó el número de días transcurridos desde el momento de la siembra hasta cuando más del 50% de brotes emergieron sobre la superficie del suelo.
- Número de brotes emergidos: Se contabilizó el número de brotes emergidos desde el momento de la siembra hasta cuando más del 50% de brotes emergieron sobre la superficie del suelo.
- Días a floración: Se contabilizó los días transcurridos desde la siembra hasta cuando más del 50% de las plantas presentaron botones florales.
- Altura de planta (cm): Se tomaron registros a partir de los 15 días después de que más del 50% de brotes emergieron a la superficie hasta el momento en que aparecieron los botones florales; la medición se efectuó desde la base del tallo hasta la zona apical del tallo principal.

- Numero de tubérculos: Se contabilizó el número de tubérculos obtenidos de cada planta después de realizada la cosecha.
- Rendimiento (Ton/ha): Se realizó el pesaje de los tubérculos obtenidos de cada planta en el momento de la cosecha y se hizo la sumatoria con el fin de obtener la cantidad en ton/ha de cada unidad experimental (1 metro, 3 metros y 6 metros).

Análisis de información

Para la tabulación de la información se utilizó el programa Excel y los resultados obtenidos se sometieron a un Análisis de Varianza (ANDEVA complejo), Pruebas de Diferencia Mínima Significativa (DMS) para cada variable. Para el diseño básico del ANDEVA complejo o de dos vías se constituyó una tabla de contingencia en que las

muestras de la variable dependiente están clasificadas según un factor (variable independiente en las filas) y el otro factor en las columnas (Stiles, 2000). Este análisis se realizó con el programa InfoStat/Profesional, Versión 2.0.

Resultados y discusión

El Análisis de Varianza, muestra diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) (Tabla 2), para tipos de cerca viva en las variables número de brotes emergidos y diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para las variables días a emergencia de brotes en la superficie, altura de la planta, días a floración, número de tubérculos y rendimiento.

Respecto a la fuente de variación distancias se manifiestan diferencias significativas ($p < 0,05$) (Tabla 2), para las variables altura de plantas, días a floración, número de tubérculos y diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) para las variables días a emergencia de brotes en la superficie, número de brotes emergidos y rendimiento. Se presentaron diferencias estadísticas significativas para la interacción tipos de cerca viva por distancias ($p < 0,05$) para la variable número de brotes emergidos y altura de planta, y diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$) para días a emergencia de brotes en la superficie, días a floración, número de tubérculos y rendimiento.

Días a emergencia de brotes en la superficie de las plantas del sistema productivo de papa (Solanum tuberosum Lam Variedad Diacol Capiro)

La Prueba de Diferencia Mínima Significativa evidencia efectos de interacción, es decir que las distancias afectan los días a emergencia de brotes a la superficie de forma diferencial, en ciertos tipos de cerca viva. En los tipos de cerca 2, 3 y 4 el número de los días de emergencia de brotes a la superficie aumentan al incrementar las distancias, sin embargo en el monocultivo y en el tipo de cerca 1 la variable no presenta diferencias estadísticas a diferentes

distancias (Tabla 3).

Tabla 3. Días de emergencia de brotes en la superficie de las plantas del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva.

Tipos de cerca viva	Distancia			Promedio tipo de cercas
	1 (m)	3 (m)	6 (m)	
Tipo 1	46,88a	47,03a	46,93a	46,93
Tipo 2	42,83a	43,01a	49,98b	45,273
Tipo 3	42,88a	43,12a	51,03b	45,677
Tipo 4	50,33a	50,03a	56,951b	52,437
Monocultivo	58,05a	58,06a	58a	58,037
Promedio de distancias	48,523	48,56	52,5782	

*Letras diferentes diferencias estadísticas significativas

**Letras iguales no hay diferencias estadísticas significativas

Posiblemente, los principales factores que influyen en el crecimiento de los brotes son la variedad de papa, el manejo previo al almacenamiento, la temperatura, la humedad y el grado de exposición a la luz, donde, el crecimiento de los brotes es lento a temperaturas menores o iguales a 5°C. Respecto a esto, Booth y Shaw (1989), manifiestan que la emergencia de las plantas es más rápida a altas temperaturas, afirmando que los tubérculos deben ser plantados y puestos en condiciones de buena disponibilidad de agua a temperaturas entre 17° y 20°C así, la yema apical crecerá y se desarrollará rápidamente, produciéndose por cada tubérculo semilla un solo tallo, que luego se ramificará intensamente.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas presentadas en la zona de estudio, es importante mencionar que los sistemas agroforestales y en sí, las cercas vivas son un elemento importante de conservación por su efecto de regulación del microclima en laderas expuestas a vientos

Tabla 2. Cuadrados medios para las variables días a emergencia de brotes en la superficie, número de brotes emergidos, altura de planta, días a floración, número de tubérculos y rendimiento del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva. Municipio de Pasto.

Cuadrado Medio							
Fuentes de variación	Grados de libertad	Días a emergencia de brotes en la superficie	Número de brotes emergidos	Altura (cm)	Días a floración	Número de tubérculos	Rendimiento (ton/ha)
Modelo	646	1399,16	2,06	10291,69	2039,37	219,25	4766,96
Tipos de cerca viva	646	2968,85**	3,78*	28371,97**	2935,66**	546,15**	10593,78**
Distancia	646	1546,03**	5,88**	157,12*	4438,83*	161,84*	1873,03**
Tipo * Distancia	646	266,3**	0,82*	214,01*	362,74**	80,87**	541,40**
Error	646	0,67	1,2	94,55	0,74	25,4	156,9
C.V		1,63	24,35	18,78	0,74	31,13	44,93

** Diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,01$)

* Diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)

fríos o desecantes, permitiendo así, un mejor desarrollo de los cultivos protegidos y por lo tanto, una mejor cobertura del suelo (Faustino, 1993) y esto permitió que la temperatura recibida por las plantas presentes a distancia 1 metro fuera mayor a la percibida por las plantas que se encontraban más alejadas de la cerca viva y el monocultivo, debido posiblemente a la creación de un microclima, puede ser beneficioso para las plantas, por ejemplo modificaciones de la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire, suelo y viento y que puede contribuir en el control de malezas (Jiménez y Muschler, 1999).

Número de brotes emergidos del sistema productivo de papa (Solanum tuberosum Lam Variedad Diacol Capiro).

La Prueba de Diferencia Mínima Significativa evidencia efectos de interacción entre tipos de cerca por distancias, es decir que las distancias afectan el número de brotes emergidos de forma diferencial, a ciertos tipos de cerca viva, donde, en el tipo de cerca 1, 4 y el monocultivo no se observan diferencias estadísticas significativas. En el tipo de cerca 2 y 3 el número de brotes disminuye cuando las plantas se encuentran a distancias de 3 y 6 metros (Tabla 4), es decir entre mayor proximidad presente la planta con el componente leñoso, habrá mayor cantidad de brotes.

Tabla 4. Número de brotes de las plantas del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva.

Tipos de cerca viva	Distancia			Promedio tipo de cercas
	1 (m)	3 (m)	6 (m)	
Tipo 1	4,16a	4,32a	4,47a	38,887
Tipo 2	5,22a	4,42ab	4,71b	43,083
Tipo 3	4,88a	4,21b	4,42b	40,593
Tipo 4	4,88a	4,44a	4,6a	41,807
Monocultivo	4,5a	4,37a	4,63a	40,513
Promedio de distancias	42,6	39,198	41,132	

*Letras diferentes diferencias estadísticas significativas

**Letras iguales no hay diferencias estadísticas significativas

En los tipos de cerca 2 y 3 las plantas situadas a 1 metro, el componente leñoso proporciona condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de mayor número de brotes. De acuerdo a lo anterior, Horton (1992), afirma que el número de brotes que se forman dependen de los ojos del tubérculo - semilla, los cuales varían dependiendo de la variedad, el tamaño del tubérculo y de las condiciones ambientales y el número de ojos es más o menos proporcional a la superficie del tubérculo, lo cual, el crecimiento de los brotes también es afectado por la temperatura del suelo y más con Temperaturas en el suelo menores aproximadamente a 12°C donde, perjudican el desarrollo de los brotes.

Uno de los beneficios de las cercas vivas, es el incrementar la temperatura en parcelas adyacentes, en los Andes Suramericanos donde se encuentra establecido este arreglo agroforestales demostró mediante investigaciones que los incrementos en la temperatura fueron de hasta 2°C (Proyecto FAO: Holanda DFPA, 1995). En cuanto a las condiciones del suelo, Méndez *et al.* (2000), mencionan que las disminuciones en la temperatura del suelo se atribuyen a la mayor retención de humedad observada en parcelas protegidas con cercas vivas.

Los resultados obtenidos, en esta investigación permiten comprobar los efectos positivos generados por las cercas vivas su posible influencia en algunas condiciones ambientales que soporta el sistema silvoagrícola, afirmando así, que la presencia del componente leñoso brinda servicios y beneficios al cultivo de papa. Debido a esto, se puede indicar que las plantas establecidas a 1 metro de la cerca viva resultaron beneficiadas al recibir una temperatura mayor tanto en la parte aérea como a nivel del suelo en comparación con la percibida por las plantas dispuestas a una distancia más lejana de este arreglo al monocultivo, reflejando así el efecto positivo de la cerca viva en un mayor número de brotes emergidos en la superficie.

Altura de las plantas del sistema productivo de papa (Solanum tuberosum Lam Variedad Diacol Capiro).

La variable altura de plantas presentó en la Prueba de Diferencia Mínima Significativa efectos de interacción entre tipos de cerca por distancias, es decir que las distancias afectan la altura de planta (cm) de forma diferencial, a ciertos tipos de cerca viva. Se evidencian diferencias significativas en los 4 tipos de cerca y el monocultivo, por lo tanto la altura de las plantas se incrementa al aumentar la distancia de ubicación de la planta respecto a la cerca (Tabla 5).

Tabla 5. Altura de las plantas del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva (cm).

Tipos de cerca viva	Distancia			Promedio tipo de cercas
	1 (m)	3 (m)	6 (m)	
Tipo 1	43,05a	40,63b	43,55c	42,41
Tipo 2	50,55a	54,7b	54,84b	53,363
Tipo 3	74,87a	78,65b	79,22c	77,58
Tipo 4	50,22a	51,05b	52,69c	51,32
Monocultivo	28,22a	31,88b	35,07c	31,723
Promedio de distancias	49,382	51,382	53,074	

*Letras diferentes diferencias estadística significativas

**Letras iguales no hay diferencias estadísticas significativas

La cerca viva, actúa como una cortina que impide que el viento impacte directamente a las plantas del cultivo en asocio, por tanto evitar y disminuir el efecto que puede ejercer el viento sobre este. Según Köpsellet *et al* (2001) las cercas vivas protegen las áreas de cultivo contra el viento y las heladas. Lo que no ocurre en el monocultivo que está expuesto al impacto directo de las corrientes de viento y de acuerdo a lo que menciona Devlin (1976), cuando las plantas reciben corrientes directamente por lo tanto se aumenta la velocidad de transpiración y sobrepasa la absorción, produciendo un déficit de agua y el consiguiente marchitamiento. Naturalmente, esto va en detrimento de la planta y, si alcanza un cierto límite, puede provocar la muerte de la planta (Devlin, 1976); esta puede posiblemente ser una de las razones por las que las plantas del monocultivo presentan alturas inferiores que los demás tipos de cerca viva.

En la zona de estudio se presentan fuertes velocidades de viento superiores 2 m/s (IDEAM, 2010), según Lira (2007), las fuertes velocidades afectan la transpiración al influir sobre el gradiente de vapor de agua próximo a la superficie foliar y existe una capa límite en la superficie de la hoja, a través de la cual el vapor se difunde hacia el exterior desde las superficies húmedas en el mesófilo y el parénquima, y mientras más delgada sea la capa límite más se acentúa el gradiente de presión de vapor, por consiguiente, es más rápida la transpiración, por lo cual, al perturbar la capa límite, el viento incrementa la transpiración conforme los tejidos se deshidratan y los estomas se cierran.

Como resultado, el dióxido de carbono limita la fotosíntesis debido a que por medio de los estomas realiza el intercambio gaseoso y más, cuando la concentración interna de CO₂ foliar es menor a cierto punto crítico, la planta alcanza el estado conocido como punto de compensación del CO₂, lo que indica que la tasa de fotosíntesis iguala la tasa de respiración, lo que resulta en un rendimiento energético nulo para la planta (Glieman, 2002).

Dentro del tipo de cerca 3, a una distancia de 1 metro de la misma se evidencia que las plantas presentan una altura menor con un promedio de 74,87 cm frente a las distancias de 3 y 6 metros que presentan promedios 78,65y 79,22 cm, respectivamente, esto probablemente puede ocurrir porque la asociación de árboles con cultivos crea un cierto grado de competencia por luz, agua y nutrientes entre los diferentes componentes, en donde la mayor limitante creada por los árboles es la sombra (Méndez *et al*. 2000); debido a que la sombra y los cambios en la calidad del espectro de luz pueden tener un efecto dañino sobre el crecimiento de los cultivos en la inmediata cercanía de los árboles (FAO, 1991).

De acuerdo a lo anterior, los efectos de competencia de las cercas vivas varían de acuerdo a las distancias entre árboles y cultivos asociados, las condiciones ecológicas y climáticas en donde se encuentren y las características de las especies arbóreas y cultivos utilizados (Méndez *et al*. 2000).

Días a floración de las plantas del sistema productivo de papa (Solanum tuberosum Lam Variedad Diacol Capiro)

La Prueba de Diferencia Mínima Significativa para esta variable, evidencia efectos de interacción entre tipos de cerca por distancias, es decir que las distancias afectan los días a floración de forma diferencial, a ciertos tipos de cerca viva. El monocultivo no presenta diferencias significativas debido a que no se indican efectos interactivos, por el contrario, en los 4 tipos de cercas vivas los días a floración varían decreciendo a distancias mayores (Tabla 6).

Tabla 6. Días a floración de las plantas del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva.

Tipos de cerca viva	Distancia			Promedio tipo de cercas
	1 (m)	3 (m)	6 (m)	
Tipo 1	124,82a	125,08a	118,04b	122,65
Tipo 2	119,89a	112,92b	112,95b	115,25
Tipo 3	113,72a	107,1b	107,01b	109,28
Tipo 4	118,17a	110,59b	110,55b	113,1
Monocultivo	128,22a	128,2a	128,17a	128,2
Promedio de distancias	120,96	116,778	115,344	

*Letras diferentes diferencias estadísticas significativas

**Letras iguales no hay diferencias estadísticas significativas

Los días a floración fueron menos a distancias de 3 y 6 metros, comprobando así, que las plantas de papa que tenían una cercanía al arreglo agroforestal resultaron afectadas por el componente leñoso. Con respecto a la influencia del fotoperiodo en la floración se puede indicar que todas las variedades florecen más abundantemente cuando reciben mayor cantidad de luz en el transcurso del día. Según Alvim (1959), en las zonas andinas del Perú y Ecuador la luz del sol se refleja por menos tiempo, considerando esto debido al hecho de que la floración de la papa no depende propiamente de un mecanismo fotoperiodo pero si, principalmente de la cantidad de luz recibida.

Jiménez y Vargas (1998), afirman que la estrecha relación entre radiación, fotosíntesis y producción de biomasa hace que la disponibilidad de energía lumínica sea un factor fundamental cuando se analizan interacciones en sistemas

de cultivo con varias especies. La más alta producción fotosintética en asociaciones de plantas se alcanza cuando cada planta es provista con la cantidad mínima de luz que requiere para una fotosíntesis máxima. En este caso se comprueba que la interferencia del componente leñoso sobre el cultivo agrícola afecta el proceso de fotosíntesis, tardando más días en florecer las plantas ubicadas a 1 metro de la cerca viva, posiblemente debido a que el árbol o arbusto permite el paso de cierto porcentaje de luz solar a la papa, impidiendo que estas tomen la intensidad lumínica necesaria para llevar a cabo los procesos naturales de forma rápida y completa.

Número de tubérculos de las plantas del sistema productivo de papa (Solanum tuberosum Lam Variedad Diacol Capiro) Para la variable número de tubérculos, la Prueba de Diferencia Mínima Significativa evidencia efectos de interacción entre tipos de cerca por distancias, es decir que las distancias afectan el número de tubérculos de forma diferencial, a ciertos tipos de cerca viva, lo que indica que la cantidad de tubérculos está relacionada con las distancia a la que se encuentre. Para las plantas del monocultivo y las que se encuentran a una distancia de 6 metros respecto a la cerca tipo 3 con un promedio de 19,94 y 19,68, respectivamente, que presentaron un mayor número de tubérculos, y a una distancia de 1 metro en el tipo de cerca 1 las plantas presentaron un promedio de 9,94 (Tabla 7).

Tabla 7. Número de tubérculos de las plantas del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva.

Tipos de cerca viva	Distancia			Promedio tipo de cercas
	1 (m)	3 (m)	6 (m)	
Tipo 1	9,94a	13,44b	16,22c	13,2
Tipo 2	13,05a	15,31b	14,76b	14,373
Tipo 3	17,13a	18,21ab	19,68b	18,34
Tipo 4	13,88a	14,81a	16,02a	14,903
Monocultivo	19,94a	17,66ab	17,38b	18,327
Promedio de distancias	14,788	15,886	16,812	

*Letras diferentes diferencias estadísticas significativas

**Letras iguales no hay diferencias estadísticas significativas

Las plantas del cultivo de papa, que se encuentran a plena exposición solar y que el árbol no interviene en la cantidad de radiación como lo es en el monocultivo y en el tipo de cerca 3 a distancias de 3 metros con un promedio de 4 horas de sombra diarias y 6 metros sin interferencia de luz solar representan un mayor número de tubérculos debido a que se lleva a cabo el proceso fotosintético sin ninguna interferencia. Con lo anterior, Herrera *et al* (2006), señalan que el área foliar de la planta es un factor determinante para una tuberización adecuada, por lo tanto, el número de

tubérculos por planta y las tasa de crecimiento del tubérculo disminuyen a temperaturas altas, debido a los efectos directos de la temperatura sobre la fotosíntesis, respiración y tasas de conversión de azúcares a almidones dentro de los tubérculos (Midmore, 1988). Debido a esto la cerca viva genera un microclima que se caracteriza por la calidad de radiación difusa, homogeneidad relativa de temperatura, alta humedad y la ausencia de vientos (Heuveldop *et al.* 1986), razón por la que las plantas del tipo de cerca No. 1 a distancia 1 metro, presenten un promedio inferior.

Para la determinación del número de tubérculos, es necesario tener en cuenta los resultados obtenidos para la variable de número de brotes, según Pozo (1999) cuando aumenta la densidad de tallos o brotes disminuye el número de tubérculos por tallo, lo que es posible afirmar en esta investigación debido a que en los tipos de cerca viva donde se contabilizó un mayor número de brotes se obtuvo un menor número de tubérculos, haciendo entre estas 2 variables una relación indirectamente proporcional, ya que al aumentar el número de brotes posiblemente será menor el número de tubérculos por tallo y en condiciones de altas densidades de tallos/m², no sólo disminuye el tamaño del tubérculo sino que se reduce el número de tubérculos por tallo debido a la competencia entre ellos (Pozo, 1999). En el caso de las plantas ubicadas a 1 metro de la cerca viva presentaron un mayor número de brotes, pero obtuvieron una cantidad menos de tubérculos y por el contrario, las plantas ubicadas a distancias más alejadas de la cerca viva presentaron un menor número de brotes pero obtuvieron una cantidad mayor de tubérculos, a excepción del monocultivo que fue el que mayor número de tubérculos presento dentro de esta investigación.

Rendimiento (ton/ha) de las plantas del sistema productivo de papa (Solanum tuberosum Lam Variedad Diacol Capiro) La Prueba de Diferencia Mínima Significativa para rendimiento, evidencia efectos de interacción entre tipos de cerca por distancias, es decir que las distancias afectan el rendimiento de forma diferencial, a ciertos tipos de cerca viva. Las plantas que se localizaban a una distancia 3 y 6 metros respecto al tipo 3 y el monocultivo mostraron mayor rendimiento (ton/ha) con promedios de 43,22; 41,7 y 40,73, respectivamente, frente a los demás tipos de cerca viva (Tabla 8).

La distancia entre el componente leñoso que hace parte de la estructura de la cerca viva y el cultivo de papa influye en éste especialmente por la sombra generada y como consecuencia la disminución de la tasa fotosintética que presento el tipo de cerca 1 a una distancia de 1 y 3 metro y en el tipo de cerca 4 a una distancia de 1, la papa al presentar fotosíntesis C3 necesita la energía solar para realizar la fotosíntesis, porque de acuerdo a lo que indican Herrera *et al.* (2006), el inicio del crecimiento del tubérculo está

Tabla 8. Rendimiento de las plantas del sistema productivo de papa (*Solanum tuberosum* Lam Variedad Diacol Capiro) a diferentes distancias con respecto a la cerca viva.

Tipos de cerca viva	Distancia			Promedio tipo de cercas
	1 (m)	3 (m)	6 (m)	
Tipo 1	13,11a	15,12a	18,43a	15,553
Tipo 2	19,39a	28,93b	30,3b	26,207
Tipo 3	25,92a	41,7b	43,22b	36,947
Tipo 4	13,05a	17,13ab	20,77b	16,983
Monocultivo	40,73a	34,28b	35,86b	36,957
Promedio de distancias	22,44	27,432	29,716	

*Letras diferentes diferencias estadísticas significativas

**Letras iguales no hay diferencias estadísticas significativas

influenciado por la duración de la luz diaria que recibe; por consiguiente, la intensidad de luz percibida durante ese periodo tendrá un marcado efecto sobre el crecimiento posterior de los tubérculos, ya que la intensidad lumínica es un factor importante en la síntesis de carbohidratos a través del proceso de la fotosíntesis.

Gawronska y Awelle (1989), demostraron que con bajas intensidades de luz se da decrecimiento de la fotosíntesis, reducción de la acumulación de biomasa, no hay producción de brotes axilares, elongación de tallos y se retarda el crecimiento del tubérculo, por último su crecimiento está relacionado con incrementos en la capacidad fotosintética de las hojas de la planta. La proporción de asimilados que se translocan a los tubérculos es muy baja, debido a los cambios que se originan en la distribución de fotoasimilados, favoreciendo la biomasa de la planta en hojas y tallos a expensas de los tubérculos, por consiguiente, se presenta una reducción en cuanto al tamaño y al índice de cosecha.

Las plantas que presentan rendimientos superiores en el monocultivo y en el tipo de cerca viva 3 a una distancia de 3 y 6 metros no presentan interferencia de luz que impida que la planta pueda llevar a cabo los procesos fotosintéticos porque el árbol a esa distancia no produce cambios en la calidad del espectro solar por lo tanto no afecta la tasa fotosintética de las plantas.

Debido a su tamaño, profundidad de raíces y naturaleza perenne, un árbol tiene efectos significativos sobre las condiciones abióticas de un agroecosistema. Los árboles afectan el ambiente de un sistema agroforestal de diferentes formas. El árbol altera el ambiente de luz mediante la sombra debajo de la copa de un árbol, demuestra que el uso de árboles en los agroecosistemas siempre incluye compromisos. Sin embargo, con el manejo adecuado, los

agricultores pueden maximizar los beneficios de los árboles y a la vez, minimizar los efectos negativos sobre el rendimiento (Gliessman, 2002).

Conclusiones

El número de días de emergencia y el número de brotes en la superficie se reduce al incrementarse la distancia de las cercas vivas.

La altura de las plantas del sistema productivo de papa de incrementan cuando la planta se encuentra menos próxima a la cerca viva.

El número de días a floración es mayor cuando la planta se encuentra más próxima al arreglo agroforestal.

El monocultivo y las plantas ubicadas a distancias más alejadas del componente leñoso presentaron mayor número de tubérculos y rendimiento.

Literatura citada

- ALTIERI, M y NICHOLLS, C. Perspectivas agroecológicas: Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Barcelona: ICARIA EDITORIAL. 2001. 247p.
- ALVIM, P. Bases Fisiológicas de la Producción Agrícola. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Vol. 1. 1959.
- BOTINA, A y BRAVO, S. Evaluación del comportamiento de la *Watsimba Tigridia pavonia* bajo tres distancias de siembra en un arreglo agroforestal con Laurel de Cera *Morella pubescens* H&B ex Willd Wilbur en el Municipio de Sibundoy – Putumayo. Revista de Ciencias Agrícolas. Vol. XXV, No. I y II. 2008. 77 -96p.
- BOOTH, R. y SHAW, R. Principios de almacenamiento de papa. Centro Internacional de la Papa. Editorial Hemisferio Sur. 1989. 20p.
- CASANOVA, F. RAMÍREZ, L. y SOLORIO, F. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. Avances en Investigación Agropecuaria, septiembre – diciembre, año/vol. 11, número 003. Universidad de Colima, México. 2007. 13 p.
- CORPORACIÓN COLOMBIANA INTERNACIONAL. Sistema de Información Agropecuaria primer semestre 2010: Encuesta Nacional Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2010. 20p.

- DEVLIN, R. Fisiología vegetal. 3 ed. Barcelona: OMEGA, 1976. 503 p.
- FAUSTINO, J. Conservación de suelos y aguas: Prácticas Forestales y Agrostológicas. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 1993.
- FINAGRO. Producción mundial de la papa. Colombia, Suramérica- 2009. En: http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-197&p_options=#MUNDO
- GLIESSMAN, S. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2002. 359p.
- HERRERA, C; FIERRO, L y MORENO, J. Manejo integrado del cultivo de papa. Bogotá: CORPOICA, 2006. 195p.
- HEUVELDOP, J; PARDO, J; QUIROS, S y ESPINOSA, L. Agroclimatología tropical. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a distancia (EUNED), 1986. 381p.
- HOLDRIDGE, L. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica: IICA. 1982. 216p.
- HORTON, D. La papa: Producción, comercialización y programas. Centro internacional de la papa: Lima, Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, con autorización de "Winrock Internacional". 1992.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010.
- JIMENEZ, F y MUSCHLER, R. Conceptos básicos de agroforestería. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 1999. 33p.
- JIMENEZ, F. y VARGAS, A. Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 1998. 120 – 121p.
- KÖPSELL, E; MUSCHLER, R. y JIMENEZ, F. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2001. 187 p.
- LIRA, H. Fisiología vegetal. 2 ed. Mexico: Trillas, 2007. 237p.
- MENDEZ, E. BEER, J. FAUSTINO, J. y OTÁLORA, A. Plantación de árboles en línea. 2 ed. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 2000. 130p.
- MIDMORE, D. Fisiología de la planta de papa bajo condiciones de clima cálido. Guía de Investigación CIP 24. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 1988. 15 p.
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Agenda ambiental municipal de Pasto. Dirección de desarrollo territorial. Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. Pasto, Colombia. 2004. 510p.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION – FAO. Silvicultura y seguridad alimentaria. Roma: 1991. 121p.
- PROYECTO FAO - HOLANDA DFPA. Prácticas agroforestales: metodologías y estudios de caso. Serie Validaciones Proyecto FAO – Holanda DFPA. Quito, Ecuador. 1995. 182 p.
- POZO, M. Tuberización, tamaño de la semilla y corte de tubérculos. Fascículo 2.3. Producción de tubérculos – semillas de papa. Manual de capacitación. Lima, Perú: Centro internacional de la papa (CIP). 1999. 19 p.
- RAMÍREZ, A y VÉLEZ, J. Evaluación preliminar del arreglo agroforestal en líneas de laurel de cera *Myrica pubescens* con papa *Solanum tuberosum* y ajo *Allium sativum* en la vereda Botana, municipio de Pasto. Tesis de Grado. Ingeniero Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto. 2002. 140 p.
- STILES, F. Curso "Muestreo y análisis estadístico en investigaciones biológicas". Bogotá: Universidad Nacional- sede Bogotá. Universidad de Nariño, facultad de ciencias naturales y matemáticas. Programa de educación ambiental Secretaría de la facultad de ciencias naturales Programa de educación ambiental. 2000. 153p.