

1.- INTRODUCCIÓN

El cultivo de hortalizas constituye uno de los rubros muy importantes de la producción de alimentos de origen vegetal, puesto que contribuye con elementos muy necesarios en la dieta alimenticia como son la vitaminas cuya función principal, está relacionada con el buen funcionamiento de los órganos del cuerpo; aunque en pequeñas cantidades, no deben de faltar, pues su carencia traerá trastornos y, agudizarse , por ello su presencia en la alimentación debe ser constante y adecuada ya que los excesos de consumo tampoco son almacenados, llamándose a las vitaminas “Factores accesorios importantes de la alimentación”(Alcazar, 2010).

La espinaca (*Spinacia oleracea*) es una planta anual o bianual originaria de Asia Central, se le atribuyen grandes cualidades nutritivas debido a su elevado contenido y riqueza en vitaminas y minerales. La espinaca es una excelente hortaliza, sabrosa y muy nutritiva. Es rica en vitamina A, B2 (riboflavina), hierro y yodo, y por tanto recomendable como apoyo a los tratamientos contra la anemia. No obstante, tiene un alto contenido en ácido oxálico, por lo que debe moderarse su consumo (Fersini, 2008).

La espinaca fue introducida en Europa alrededor del año 1000 procedente de regiones asiáticas, probablemente de Persia, pero únicamente a partir del siglo XVIII comenzó a difundirse por Europa y se establecieron cultivos para su explotación, principalmente en Holanda, Inglaterra y Francia; se cultivó después en otros países y más tarde pasó a América (Agri-nova.com, 2013).

La espinaca es un cultivo permanente ya que su producción no cesa en todo el año, sembrado habitualmente en departamentos que poseen temperaturas cálidas como ser: Santa Cruz, o templado como Cochabamba que es el mayor productor en Bolivia, pero, fácilmente puede ser cultivado en lugares con temperaturas inferiores como en el Departamento de La Paz que con la ayuda de un invernadero se logra cultivar este producto de forma exitosa, como es el caso de Tilata ubicado Viacha y en Achocalla, ambas localidades se encuentran a 30 minutos de la urbe paceña.

La espinaca es uno de los cultivos hortícolas que en los últimos años ha incrementado su consumo a nivel mundial, pudiendo ocupar un importante nicho de mercado. En el Perú las principales zonas de producción son los Departamentos de Lima y Junín, efectuándose la siembra en el periodo de otoño - invierno, pues la espinaca presenta un desarrollo adecuado a bajas temperaturas (UGAS et al, 2000).

1.1. JUSTIFICACIÓN

La producción de hortalizas en Bolivia es aproximadamente 240 000 toneladas, produciéndose una variedad de hortalizas como: apio, achojcha, berenjena, brocolo, coliflor, espinaca, lechuga, pimiento, tomate, vainita, zanahoria, zapallo y otros, siendo una diversidad mayor a 30 especies. El consumo de hortalizas en Bolivia es de 15,00 Kgr./persona/año en el área rural y 30,50 Kgr/persona/año en el área urbana, situando al país entre los más bajos de consumo de hortalizas en relación con la media mundial de 67,78 kilogramos consumidos por persona al año (F.D.T.A.V., 2010).

La producción de hortalizas está distribuida en todas las regiones del país, a pesar que algunas presentan restricciones agroclimáticas. Se tienen zonas en las que se da por lo menos un ciclo de producción mientras que en otras zonas favorecidas con hasta tres ciclos productivos por año. La producción de hortalizas está más concentrada cerca de grandes centros poblados, teniendo por ejemplo producción de hortalizas en Río Abajo en La Paz, Valle Bajo en Cochabamba, Valle de Concepción y Zona Alta en Tarija y Los Negros en Santa Cruz. Las escalas de producción son también diversas predominando pequeños productores con poco nivel tecnológico de producción y postcosecha de hortalizas (F.D.T.A.V., 2010).

El presente trabajo de investigación, pretende mostrar información que oriente sobre la evaluación de la producción mediante el uso **índices fisiológicos del crecimiento del cultivo de espinaca (*spinacia oleracea L.*), en las condiciones normales de producción"**. Debido a que el análisis de crecimiento es un método que describe las condiciones morfo fisiológicas de la planta en diferentes intervalos de tiempo, y se propone acompañar a la dinámica de la producción fotosintética, evaluada a través de la acumulación de materia seca. El análisis de crecimiento es de gran valor en la evaluación de las diferencias intervarietales e interespecíficas de las diversas características que definen la capacidad productiva de la planta (Rodríguez, 2010).

Por lo que el presente trabajo buscará evaluar los parámetros de crecimiento en el cultivo de la espinaca (*Spinacea oleracea L.*) en la Comunidad de Erquis, resultados que facilitaran planificar la producción y utilización de este cultivo tan frecuente en nuestros mercados.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

- Determinar índices fisiológicos de crecimiento del cultivo de la espinaca en condiciones normales de producción en la Comunidad de Erquís Norte, para conocer la respuesta al cultivo tradicional.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el área foliar de la especie espinaca, en condiciones normales del crecimiento.
- Estimar el índice área foliar del cultivo de espinaca bajo condiciones locales de producción.
- Obtener el área específica foliar de la espinaca en el proceso de producción para conocer la respuesta fisiológica del cultivo.
- Encontrar ecuaciones alométricas que permitan estimar el área foliar y el peso verde de hojas.

1.3 Hipótesis

Es posible estudiar el crecimiento de *Spinacia oleracea* mediante la determinación de índices fisiológicos de crecimiento, en las condiciones de cultivo en la comunidad de Erquís Norte.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen

La espinaca fue introducida en Europa alrededor del año 1000 procedente de regiones asiáticas, probablemente de Persia, pero únicamente a partir del siglo XVIII comenzó a difundirse por Europa y se establecieron cultivos para su explotación, principalmente en Holanda, Inglaterra y Francia; se cultivó después en otros países y más tarde pasó a América (INFOAGRO, 2012).

2.2. Clasificación taxonómica de la espinaca

- Reino: Vegetal
- Phylum: Telemophytae
- División: Traqueofitas
- Sub div: Angiospermas
- Clase: Dicotiledóneas
- Orden: Centrospermales
- Familia: Chenopodiaceae.
- Género: *Spinacea*
- Especie: *Oleracea L.*

2.3 Características morfológicas del cultivo de la espinaca según INFOAGRO (2010)

2.3.1. Planta

En una primera fase forma una roseta de hojas de duración variable según condiciones climáticas y posteriormente emite el tallo. De las axilas de las hojas o directamente del cuello surgen tallitos laterales que dan lugar a ramificaciones secundarias, en las que pueden desarrollarse flores. Existen plantas masculinas, femeninas e incluso hermafroditas, que se diferencian fácilmente, ya que las femeninas poseen mayor número de hojas basales, tardan más en desarrollar la semilla y por ello son más productivas.

2.3.2. Raíz

Raíz pivotante, poco ramificada y de desarrollo radicular superficial.

2.3.3. Tallo

Erecto de 30 cm a 1 m de longitud en el que se sitúan las flores.

2.3.4. Hojas

Caulíferas, más o menos alternas y pecioladas, de forma y consistencia muy variables, en función de la variedad. Color verde oscuro. Pecíolo cóncavo y a menudo rojo en su base, con longitud variable, que va disminuyendo poco a poco a medida que soporta las hojas de más reciente formación y va desapareciendo en las hojas que se sitúan en la parte más alta del tallo.

2.3.5. Flores

Las flores masculinas, agrupadas en número de 6-12 en las espigas terminales o axilares presentan color verde y están formadas por un periantio con 4-5 pétalos y 4 estambres. Las flores femeninas se reúnen en glomérulos axilares y están formadas por un periantio bi o tetra dentado, con ovarios uniovulares, estilo único y estigma dividido en 3-5 segmentos.

2.4 Requerimientos edafoclimáticos

Soporta temperaturas por debajo de 0°C, que si persisten bastante, además de originar lesiones foliares, producen una detención total del crecimiento, por lo que el cultivo no rinde lo suficiente. La temperatura mínima mensual de crecimiento es de aproximadamente 5°C. La adaptabilidad a las temperaturas bajas es de gran importancia práctica, dado que la mayor demanda de esta verdura coincide con el período otoñal-primaveral. Las condiciones de iluminación y temperatura influyen decisivamente sobre la duración del estado de roseta. Al alargarse los días (más de 14 horas de luz diurna) y al superar la temperatura los 15°C, las plantas pasan de la fase vegetativa (roseta) a la de “elevación” y producción (emisión de tallo y flores). La producción se reduce mucho si el calor es excesivo y largo el fotoperiodo, dado que las plantas permanecen en la fase de roseta muy poco tiempo, con lo que no se alcanza un crecimiento adecuado. Las espinacas que se han desarrollado a temperaturas muy bajas (5-15°C de media mensual), en días muy cortos, típicos de los meses invernales, florecen más rápidamente y en un porcentaje mayor que las desarrolladas también en

fotoperiodos cortos, pero con temperaturas más elevadas (15-26°C). También las lluvias irregulares son perjudiciales para la buena producción de espinacas y la sequía provoca una rápida elevación, especialmente si se acompaña de temperaturas elevadas y de días largos (VEGA O-1999).

Es una especie bastante exigente en cuanto a suelo y prefiere terrenos fértiles, de buena estructura física y de reacción química equilibrada. Por tanto, el terreno debe ser fértil, profundo, bien drenado, de consistencia media, ligeramente suelto, rico en materia orgánica y nitrógeno, del que la espinaca es muy exigente. No debe secarse fácilmente, ni permitir el estancamiento de agua. En suelos ácidos con pH inferior a 6,5 se desarrolla mal, a pH ligeramente alcalino se produce el enrojecimiento del pecíolo y a pH muy elevado es muy susceptible a la clorosis.

2.5. Mejora genética

Los objetivos que se persiguen en la Mejora Genética de la espinaca son los siguientes:

- Mantener el estado en roseta el mayor tiempo posible.
- Incrementar los rendimientos.
- Porte de la planta (erecto y compacto).
- Adecuar el tipo de hoja según el destino.
- Resistencia al frío.
- Resistencia al amarilleamiento.
- Resistencia a enfermedades.

2.6. Particularidades del cultivo

2.6.1. Preparación del terreno

El terreno debe labrarse profundamente y ahuecarse superficialmente mediante un cuidadoso tratamiento de grada.

No le convienen como precedentes ni la remolacha de mesa, ni la acelga.

2.6.2. Siembra

La siembra realizada al terminar el verano permite llevar a cabo la recolección a principios de invierno. En localidades de clima riguroso la recolección no tendrá lugar hasta la primavera. A fines de invierno puede sembrarse nuevamente. Con el fin de obtener una producción escalonada, se aconseja realizar siembras periódicas cada 20 días. La siembra debe realizarse en terrenos ligeramente húmedos.

Las hileras distarán entre sí 20-35 cm y se emplearán sembradoras de precisión. Estas distancias son variables, dependiendo de las exigencias de la variedad, maquinaria utilizada, modalidades de recolección, etc. Los cultivos más densos permiten un mejor control de las malas hierbas. La semilla se deposita a 1-2 cm de profundidad y luego se pasa un rulo para que las semillas se adhieran al terreno. Conviene tratar las semillas con productos fungicidas (Captan, Tiram, Sulfato de plata, Permanganato potásico).

La germinación tiene lugar a las tres semanas de la siembra si durante este periodo se mantiene una temperatura en torno a 4-6°C, ya que a medida que se incrementa la temperatura se inhibe la germinación. Si la temperatura es mayor de 26°C se produce la inhibición total de la germinación (**INFOAGRO, 2010**)

2.6.3. Aclareo

Se lleva a cabo en cultivos densos, distanciando sucesivamente las plantas, para facilitar un crecimiento adecuado y evitar el desarrollo de patógenos.

Suelen efectuarse cuando las plantas tienen 4-5 hojas. En cultivos intensivos suelen hacerse dos aclareos, el primero separando las plantas 5-7 cm y el segundo unos diez días más tarde, dejando entre plantas una distancia de 12-15 cm.

En cultivo destinado a la industria, el aclareo se hace dejando entre plantas unos 5-6 cm.

2.6.4. Escardas

El control de malas hierbas es fundamental sobre todo en el cultivo destinado a la industria al estar mecanizada su recolección.

La eliminación de malas hierbas puede realizarse manualmente, con los aperos apropiados o mediante escarda química.

En cuanto al control químico, contra gramíneas anuales se recomienda Lenacilo 50%, presentado como suspensión concentrada, con dosis de 1-1.25 l/ha ó Lenacilo 80%, presentado como polvo mojable con dosis de 0.60-0.80 l/ha; aunque esta materia activa en aplicaciones primaverales puede perjudicar a cultivos posteriores en las rotaciones como judías, melones, etc. (Fahn, 1995).

2.6.4. Abonado

Las extracciones de nutrientes de la espinaca varían mucho en función del ciclo de cultivo, variedad, marco de siembra, etc.

Aunque de forma general la fertilización deberá realizarse de acuerdo a la siguiente proporción: N-P-K 3-1-3. El suministro de fertilizantes debe ser muy rico y abundante, aunque habrá que tener en cuenta la fertilidad del suelo.

Para una producción óptima de 10 Tn/ha, una fertilización óptima sería la siguiente:

- 70-100 U.F. de N.
- 40-60 U.F. de P₂O₅.
- 100-150 U.F. de K₂O.

El potasio reduce la concentración de ácido oxálico, contribuye a dar carnosidad a las hojas y a mantenerlas túrgidas durante un largo periodo. El fósforo actúa reduciendo también la concentración de ácido oxálico, pero favorece la rapidez de la elevación. El nitrógeno aumenta la concentración de la vitamina C. El fósforo y el potasio se distribuyen durante la preparación del terreno, mientras que el nitrógeno se adiciona antes de la siembra en una proporción del 30 %. En cobertura el nitrógeno se aportará con una frecuencia de 15-20 días. También es conveniente emplear el potasio en abonado de cobertera (de Mello, 2008).

La carencia de boro se manifiesta en la espinaca con una reducción en altura, una clorosis intensa y las raíces muestran un color negruzco. En suelos con pH elevado la carencia de manganeso provoca una clorosis foliar, mientras que las nerviaciones quedan de color verde.

La administración de estiércol no debe realizarse directamente, sino en el cultivo que precede al de espinaca, ya que el ciclo de desarrollo de la espinaca es muy rápido y no le da tiempo a beneficiarse de éste, las raíces son muy delicadas y se hacen más susceptibles al ataque de hongos (especialmente con estiércol fresco) y con dicho estiércol se diseminan semillas de malas hierbas (de Mello, 2008).

2.6.5. Riego

La espinaca se beneficia mucho de la frescura del terreno, especialmente cuando se inicia el calor. Regando el cultivo con frecuencia se pueden obtener buenos rendimientos y plantas ricas en hojas carnosas, siendo especialmente importante en los cultivos que se recolectan tardíamente en primavera. Los periodos de sequía e irrigación alternantes favorecen la eclosión del tallo.

El riego por aspersion es el más conveniente y extendido, recomendándose los riegos cortos y frecuentes, especialmente en las últimas fases del cultivo (**INFOAGRO, 2010**).

2.7. Plagas y enfermedades

2.7.1. Plagas

-Nemátodo de la remolacha (*Heterodera schachtii* Smith)

Se observan nudosidades que llevan consigo el marchitamiento de las plantas.

2.7.1.1. Pegomia o mosca de la remolacha (*Pegomya betae* Curtis)

Los adultos tienen la cabeza grisácea con una raya roja en la parte frontal; los ojos son rosados y las patas amarillas. Las larvas miden aproximadamente 6-7 mm de longitud. Los daños son producidos por las larvas, pues perforan la epidermis y penetran en el interior de los tejidos del limbo, formando galerías que, cuando se unen varias, forman manchas de aspecto plateado, blandas al tacto y color pardusco, llegando a ocupar gran parte de la hoja.

Tienen tres generaciones al año. Las hojas de espinaca no pueden soportar ataques muy graves, pues pierden en seguida su valor comercial.

2.7.1.2. Pulgones (*Aphis fabae* Scop y *Myzus persicae* Sulz)

En el envés de las hojas se desarrollan colonias, provocando un cispamiento del follaje.

Un ataque de pulgón si está muy avanzado el desarrollo de la espinaca y cercana su recolección, puede inutilizar comercialmente toda la producción, debido al aspecto desagradable que toma la hortaliza.

2.7.2. Enfermedades

-Mildiu de la espinaca (*Peronosporaspimaceae* Laub), *P. farinosa* y *P. efusa* (Gw) Tul).

En el haz aparecen manchas de contorno indefinido, con un color verde pálido que más tarde pasa a amarillo. En el envés estas manchas se cubren con un abundante afeiltrado gris violáceo. Se produce con altas humedades relativas.

2.7.2.1. *Pythium baryanum* Hesse

El follaje se marchita y se vuelve clorótico. La raíz principal se encuentra necrosada desde su extremidad hasta unos 8-10 mm del cuello.

2.8. Recolección

La recolección se inicia en las variedades precoces a los 40-50 días tras la siembra y a los 60 días después de la siembra con raíz incluida; oscilando las producciones óptimas entre 15 y 20 Tn/ha.

La recolección nunca se realizará después de un riego, ya que las hojas se ponen turgentes y son más susceptibles de romperse. Puede efectuarse de dos formas principalmente: manual o mecanizada.

La recolección manual consiste en cortar las hojas más desarrolladas de la espinaca, dando aproximadamente 5 ó 6 pasadas a un cultivo. Si se pretende comercializar plantas enteras, se corta cada planta por debajo de la roseta de hojas a 1 cm bajo tierra, en este caso se dará solo una pasada.

Si la espinaca se destina a la industria la recolección será mecanizada empleando cosechadoras autopropulsadas, éstas constan de una barra de corte de altura regulable y anchura variable (1-3 m), una cinta transportadora de producto y una tolva.

En algunas zonas se realiza un segundo corte unos 10-15 días más tarde de la primera recolección mecánica, dando lugar a una segunda cosecha. Sin embargo, la calidad del producto que se obtiene en este segundo corte es muy inferior.

2.9. Valor nutricional

La espinaca es una hortaliza con un elevado valor nutricional y carácter regulador, debido a su elevado contenido en agua y riqueza en vitaminas y minerales.

Composición nutritiva de las espinacas por 100 g de producto comestible (según Fersini, 1976; Wattt et al., 1975)

Prótidos (g) 3.2-3.77

Lípidos (g) 0.3-0.65

Glúcidos (g) 3.59-4.3

Vitamina A (U.I.) 8.100-9.420

Vitamina B1 (mg) 110

Vitamina B2 (mg) 200

Vitamina C (mg) 59

Calcio (mg) 81-93

Fósforo (mg) 51-55

Hierro (mg) 3.0-3.1

Valor energético (cal) 26

2.10. Postcosecha

2.10.1. Calidad: las espinacas, tanto en manojo como en hojas, deben estar uniformemente verdes, totalmente túrgidas, limpias y sin serios daños. En las espinacas en manojos, las raíces deben ser eliminadas y los pecíolos deben ser más cortos que la lámina de la hoja.

2.10.2. Temperatura óptima: 0°C; 95-98% H.R.

La espinaca es altamente perecedera y no mantendrá una buena calidad por más de 2 semanas. La marchitez, el amarilleamiento de las hojas y las pudriciones se incrementan con un almacenaje superior a 10 días.

2.10.3. Tasa de respiración:

| | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|---------|----------|----------|
| Temperatura | 0°C | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| mL CO ₂ /k•h* | 9 - 11 | 17 - 29 | 41 - 69 | 67 - 111 | 86 - 143 |

-Tasa de producción de etileno: < 0.1µL / k•h a 20°C.

(Miranda, 1995)

2.10.4. Efectos del etileno: La espinaca es muy sensible al etileno presente en el ambiente. Un amarilleamiento acelerado se produce como consecuencia de elevados niveles de etileno durante la distribución y almacenaje (Miranda, 1995).

2.10.5. Efectos de la atmósfera controlada (A.C.): La atmósferas de 7-10% O₂ y 5-10% CO₂ ofrecen moderados beneficios a la espinaca, retrasando el amarilleamiento. La espinaca es tolerante a altas concentraciones de CO₂, pero no se ha observado un incremento en los beneficios. Se han seleccionado películas plásticas para envasar hojas de espinaca pre-lavadas para mantener 1-3% O₂ y 8-10% . CO₂ (Teruel, 1995)

2.10.6. Fisiopatías:

Daño por congelamiento. Este se inicia a - 0.3°C. El daño por congelamiento resulta en tejido con una apariencia de embebido en agua, típicamente seguido por una rápida pudrición causada por bacterias de pudrición blanda (Rodríguez, 2010).

2.10.7. Amarillamiento. La espinaca es altamente sensible a etileno presente en el ambiente (efectos del etileno).

2.10.8. Daño mecánico: La cosecha y el manejo posterior deben ser efectuados con cuidado para prevenir daño a los pecíolos y hojas. Las gomas para amarrar los manojos no deben estar muy apretadas para evitar romper o quebrar los pecíolos, lo cual conducirá a una rápida pudrición (Alcazar, 2010).

2.10.9. Enfermedades: Pudrición blanda bacteriana (principalmente *Erwinia* y *Pseudomonas*) es un problema común. Las pudriciones están normalmente asociadas con hojas y tallos dañados.

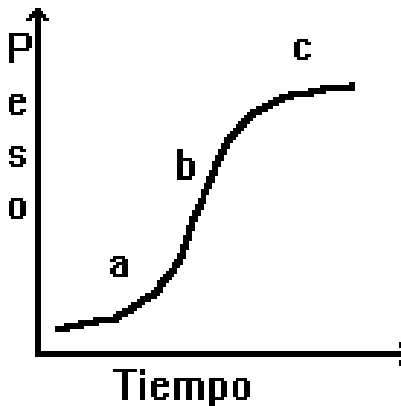
3. Crecimiento

Según Taiz y Zeiger (2002), el desarrollo de una planta inicia con la embriogénesis, el cual es un proceso continuo en el que se establece la forma básica de la planta y se forman los meristemas, que generan los órganos de la planta adulta. Estos pueden ser considerados como fábricas de células en las cuales el proceso continuo de división celular, expansión y diferenciación genera la forma de la planta, al igual que determina su tamaño y estructura. El crecimiento total puede ser definido como la suma de patrones locales de expansión celular o por medio del acercamiento cinemático, forma por la que se describe matemáticamente dicho fenómeno.

El crecimiento se puede definir como el aumento de protoplasma o el incremento de peso seco o de volumen, que ocurre en forma irreversible en un órgano o en la planta entera. Las variables a utilizar para su medición dependen de lo que se quiera medir y de la finalidad. En cultivos por ejemplo puede utilizarse la altura de los tallos, el peso seco total, el área foliar, etc. En un bosque, en cambio se mide la altura de los árboles, el diámetro del tronco, número de ramas, índice de área foliar, etc. Otras variables frecuentes son: longitud de raíces y rizomas, volumen y peso de tubérculos y frutos, y aún número de células. En algunas investigaciones se puede utilizar la cantidad de nitrógeno proteico celular, como indicador de la masa protoplasmática, obviando así las estructuras inactivas como las paredes. De acuerdo a la variable elegida se utilizará la unidad de medida más apropiada (Llana y Llana, 2001).

El crecimiento de las plantas se localiza en tejidos especiales denominados meristemas, que conservan su capacidad de dividirse indefinidamente. Existen meristemas apicales: caulinares y radicales; meristemas laterales: cambium y felógeno; meristemas intercalares: base de los entrenudos, base de las vainas, base de la lámina y meristemas marginales: bordes de las hojas. Otra característica del crecimiento de los vegetales es que generalmente es de carácter periódico, es decir que presentan períodos de crecimiento alternados con otros de reposo o disminución de su actividad. Este comportamiento puede deberse a causas endógenas o exógenas (Fahn, 1995).

El **crecimiento absoluto (r)**, es el incremento de masa por unidad de tiempo. Si bien resulta importante su determinación en algunas circunstancias, generalmente es de mayor interés conocer el **crecimiento relativo (R)**. Es decir el incremento de masa por unidad de tiempo en función a la masa presente.



GráficaN° 1. Curva de crecimiento relación Tiempo y Peso

El crecimiento de una planta o de cualquiera de sus órganos, pasa por varios estadios, que se representan con una curva sigmoidea (gráfica N° 1). Presenta tres fases: una **fase exponencial o logarítmica (a)**, donde el crecimiento aumenta exponencialmente con el tiempo; una **fase lineal (b)**, donde el crecimiento ocurre a un ritmo constante con respecto al tiempo y responde a la ecuación de una recta: $y = a + bx$; y la tercera **fase de senescencia (c)**, que se caracteriza por una disminución gradual del crecimiento con respecto al tiempo, hasta hacerse cero. Esta última caracteriza la madurez de la planta.

Existen varios índices que se utilizan para definir o caracterizar el crecimiento de una planta u órgano, los que se encuentran descritos más adelante que además complementa los aspectos teóricos necesarios para la realización de la investigación planteada.

3.1 Análisis del Crecimiento

El análisis del crecimiento vegetal fue desarrollado por los fisiólogos de la escuela inglesa Blackman 1919, Kidd y West en 1920, Watson en 1952, Blackman en 1968, y es considerado internacionalmente como el método Patrón para la estimación de la productividad biológica, o la productividad primaria de las comunidades vegetales.

Las curvas de crecimiento en los vegetales son un reflejo del comportamiento de una planta en un ecosistema particular con respecto al tiempo. Su elaboración es indispensable para la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado, para garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con nuestras necesidades y exigencias (Casierra-Posada et al., 2003; Casierra-Posada et al., 2004).

El análisis de crecimiento se refiere a la evaluación de la producción líquida de las plantas, deriva del proceso fotosintético y el resultado del desempeño del sistema asimilatorio durante un cierto periodo de tiempo. El concepto de análisis de crecimiento fija el día de 24 horas como el menor lapso de tiempo que puede ser considerado en las determinaciones. La cantidad de tejido metabólicamente activo que compone una comunidad vegetal, se llama **“Biomasa”**; sin embargo, algunas partes de una planta no pueden ser consideradas como tejidos vivos, como el xilema y la peridermis (cáscara de tallos y raíces), los cuales no son comúnmente separados para los cálculos de materia seca (Rodríguez, 1991).

El análisis de crecimiento es una técnica que sirve para cuantificar los componentes del crecimiento de plantas cultivadas, a través del método de **“Regresión Múltiple”**, generalmente de tercer orden (Rodríguez, 1991).

Para llevar a cabo el análisis de crecimiento se requiere de:

1. Una medición del material presente en la planta.
2. Una medición de la magnitud del sistema asimilatorio del material de la planta.

3.1.1. Aplicación del análisis del crecimiento

El análisis de crecimiento es un método que describe las condiciones morfo fisiológicas de la planta en diferentes intervalos de tiempo, entre dos muestreos sucesivos, y se propone acompañar a la dinámica de la producción fotosintética, evaluada a través de la acumulación de materia seca.

Existen diferentes procedimientos utilizados en la medición del crecimiento de un sistema vegetal con las cuales se puede obtener información de la variación específica del tamaño de tallo, raíz, hoja(s), fruto(s) y la plántula completa. Sin embargo, no se tiene a la fecha un método único o preferente y se considera aún como un problema de investigación abierto.

El crecimiento vegetal se caracteriza por no ser uniforme y estar relacionado con el cambio de volumen o peso en la semilla, raíz, tallo y hoja de la planta. El análisis de crecimiento de plantas puede basarse directamente en la evolución cronológica de medidas tales como peso seco, longitud de tallos, número de hojas, número de ramas, etc. (Manrique, 1990). Con estas medidas es posible calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR), la razón de peso foliar (RPF), la tasa de asimilación neta (TAN), y otras variables de importancia en la cuantificación del crecimiento (Ascencio y Fargas, 1973; Leopold, 1974; Hunt, 1990, 2002). Mientras los primeros (peso seco, longitud, etc), tienen que ver con el desarrollo absoluto de la planta, los segundos (tasas de crecimiento) explican su eficiencia en acumular materia se caen los diferentes órganos, como producto de sus procesos metabólicos (Geraud et al., 1995).

El método puede también ser usado para la investigación del efecto de fenómenos ecológicos sobre el crecimiento, como la adaptabilidad de especies en ecosistemas

diversos, efectos de competición diferencias genotípicas de la capacidad productiva, influencia de prácticas agronómicas sobre el crecimiento, etc.

A parte de ellos, existen los factores intrínsecos que afectan el crecimiento y que están asociados con procesos fisiológicos básicos, como: La fotosíntesis, respiración, transporte de metanolitos, metabolismo del nitrógeno, procesos morfo genéticos, etc.

De entre los parámetros ambientales asociados con las alteraciones del crecimiento de las plantas se tienen: La radiación solar, temperatura, suministro de agua y de nutrimentos, los cuales fueron los más estudiados. Dichos factores del medio ambiente influyen en el crecimiento vegetal de diversas maneras:

La radiación solar, en general tiene un efecto positivo sobre el TAA y negativo sobre la RAF, principalmente a través de su componente AFE. La temperatura normalmente causa un aumento sobre la tasa de expansión foliar, de la misma forma que el suministro de agua y de nitrógeno.

De esta manera, el AFE aumenta y la TAA disminuye, debido al autosombreamiento de las hojas.

El método del análisis del crecimiento es de gran valor en la evaluación de las diferencias intervarietales e interespecíficas de las diversas características que definen la capacidad productiva de la planta.

La técnica del análisis de crecimiento puede ser empleada más eficientemente en las plantas de crecimiento rápido, que poseen hojas de forma regular y que persistan por un tiempo relativamente largo. El secado de partes leñosas de plantas normalmente presenta dificultades experimentales y es fuente de errores en los cálculos. Las plantas que poseen raíces voluminosas, tubérculos bulbos, etc., son difíciles de ser procesadas en términos de secado y no son apropiadas para la utilización del análisis del crecimiento convencional.

Para realizar un análisis de la eficiencia fisiológica de una planta en función de sus parámetros de crecimiento se requieren dos operaciones básicas: 1) la cuantificación del material vegetal existente en una planta o cultivo, y 2) la medida del sistema asimilador de esa planta o ese cultivo en intervalos de tiempo sucesivos. De esas operaciones se obtienen medidas directas, como masa seca (W), área foliar total (AF), tiempo (t) e índices derivados como la tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), área foliar específica (AFE) y relación de área foliar (RAF), que se deben obtener por cálculos de análisis funcional (Miranda, 1995).

3.2. Índices de crecimiento

Para la realización del cálculo específico de los índices de crecimiento, en base a las ecuaciones polinomiales de la forma:

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

donde $x = \text{tiempo (t)}$

Se tiene para:

Fitomasa:

$$P = a' + b't + c't^2 + d't^3$$

Derivando respecto a t

$$\frac{dP}{dt} = b' + 2c't + 3d't^2$$

Área Foliar:

$$A = a' + b't + c't^2 + d't^3$$

Derivando respecto a t

$$\frac{dA}{dt} = b' + 2c't + 3d't^2$$

Masa foliar:

$$PF = a'' + b''t + c''t^2 + d''t^3$$

Derivando respecto a t

$$\frac{dPF}{dt} = b'' + 2c''t + 3d''t^2$$

Donde:

P = Peso seco de Fitomasa (g/m^2 área de suelo)

A = Índice de área foliar (m^2 área hoja/ m^2 área suelo)

t = Tiempo

PF = Peso seco de la hoja (g/m^2 área suelo)

dt = 1 día

a, a', a'', b, b', b'' y c, c', c'' son constantes

Entonces estas ecuaciones y sus primeras derivadas se pueden reemplazar directamente en las formulas respectivas de los índices de crecimiento, que se definen a continuación.

3.3 Algunos Índices de crecimiento

3.3.1. Relación del área foliar

Se define “como la relación o el coeficiente entre la superficie foliar y el peso seco de la planta”. Se expresa en $\text{m}^2/\text{kg}^{-1}$ (m^2/g).

Esta relación representa la superficie foliar (dm^2) por gramo de peso seco total de la planta.

Un RAF = 2, indica que por cada gramo de peso seco total de la planta, que la planta está formando su parte aérea.

3.3.2. Área foliar específica

Es una medida de la superficie foliar de la planta en términos de densidad o grosor relativo de la hoja. Se define como la relación entre el área total de la hoja y la masa del área foliar de la planta (Flórez *et al.*, 2006). También se define “como la relación o el cociente entre la superficie foliar y el peso de las mismas hojas”. Se expresa en m² de área de hoja/g. (Rodríguez, 1995).

$$AFE = \frac{A}{PF} = \frac{m^2}{gr}$$

$$PFE = \frac{\text{Área foliar total}}{\text{Peso seco foliar total}}$$

El AFE, es un índice del costo energético o material para la formación de una unidad de superficie foliar. Es típica su disminución en el curso del crecimiento de las plantas. Las Xerófitas tienen un AFE menor que las Mesófilas e Higrófilas.

3.3.3. Relación del peso foliar

Se define, “como la relación o el cociente entre el peso seco de las hojas y el peso seco total de la planta”. Se expresa en g/g.

Esta relación permite conocer el peso seco de las hojas en gramo por cada gramo del peso seco de la planta incluida las hojas. El valor de esta relación será siempre menor que la unidad. Alcanzando valores altos al inicio del cultivo, debido a que las plantas se encuentran en fase de intensa formación de follaje, luego, va disminuyendo por la mayor formación de estructuras de reserva y de sostén. Un RPE de 0,6 indica que por cada gramo de peso seco total de la planta, existen 0,6 gramos de peso seco de hojas en una determinada edad de un cultivo, es decir, el 60% del peso seco total de la planta corresponde al peso seco de las hojas.

3.3.4. Peso específico de la hoja

Se define “como la cantidad o porción de materia total que en un instante de tiempo forma la superficie asimiladora”. Y se expresa en g/m^2

3.3.5. Tasa de crecimiento relativo de la hoja (TCR)

Se define “como el incremento de peso foliar por cada unidad de material por unidad de material presente, por unidad de tiempo”. Se expresa en $kg\ kg^{-1}\ (g/g/día)$.

3.3.6. Tasa de expansión relativa del área foliar

Se define “como el incremento de la superficie foliar, por unidad de área foliar presente en cada unidad de tiempo”. Se expresa en $m^2\ área\ foliar/m^2\ área\ hoja/día$.

3.3.7. Factor de partición de área foliar (FPAF)

Se define “como la magnitud de superficie foliar por material de Fitomasa presente en un instante de tiempo (t)” y se expresa en m^2 de área foliar sobre gr.

3.3.7.1. Índice de área foliar (IAF)

Se define “como la relación entre el área foliar de la planta y la superficie del suelo ocupada por la planta”, y se expresa en dm^2/m^2 .

$$IAF = \frac{\text{Área foliar por planta}}{\text{Área del suelo por planta}} = \frac{dm^2}{m^2}$$

El IAF valora la velocidad con que el área foliar ocupa el área del suelo disponible.

Expresa la superficie de la hojapor unidad de área de superficie ocupada por la planta. Aumenta con el crecimiento del cultivo hasta alcanzar un valor máximo en el cual se alcanza la máxima capacidad para interceptar la energía solar, momento en que la TCCes a su vez máxima (Hunt, 1982). La reducción del IAF porefecto de salinidad puede ser

causado por una disminución en el área foliar específica (incremento de biomasa por unidad de área foliar) y/o una disminución en la proporción de masa seca acumulada en los tejidos foliares (Curtis y Läubli, 1986).

El IAF describe la dimensión del sistema fotosintético de una comunidad vegetal. En algunos casos, en que otras partes de la planta, aparte de las hojas, contribuyen de manera sustancial para la fotosíntesis, como tallos, peciolo, brácteas, etc., estos deben ser adicionados al área foliar en el cálculo de los parámetros en el análisis del crecimiento.

Un aumento en el IAF proporciona un aumento de la producción de la biomasa; sin embargo, debido al autosombreamiento de las hojas, la tasa fotosintética media por unidad de área foliar decrece. La forma cónica de una planta induce a un mayor potencial productivo que el de la forma globosa, debido a la reducción del autosombreamiento.

3.3.8. Duración del área foliar

El crecimiento vegetal está decisivamente influenciado por el tiempo en que la planta mantiene activa su superficie foliar. Esta característica está definida para la duración del área foliar.

3.3. Métodos de determinación del área foliar

Las hojas constituyen el órgano más importante de la planta y juegan el papel principal en las actividades anabólicas por medio de la clorofila que poseen en abundancia, el único medio para los procesos fotosintéticos. El área foliar total, que ha sido directamente relacionada con la cantidad de clorofila, es un parámetro importante para estimar la habilidad de la planta para sintetizar materia seca. Su adecuada determinación durante el ciclo del cultivo posibilita conocer el crecimiento y el desarrollo de la planta, la eficiencia fotosintética y, en consecuencia, la producción total de la planta (Teruel 1995, Costa, 1999). Adicionalmente, ayuda en la definición de la época ideal de siembra y de trasplante; si no se tienen en cuenta otros factores, los cultivos deben ser sembrados en épocas en las

cuales el máximo valor de índice del área foliar coincide con la época de elevada radiación, cuando la fotosíntesis líquida sea máxima, y también contribuye a estimar las necesidades hídricas de los cultivos, por lo que se requieren modelos matemáticos sencillos y rápidos para su estimación (Arjona, 2003).

Existen diferentes métodos para medirla, los que van desde los más simples hasta algunos más sofisticados que utilizan equipos diseñados para este propósito. Los más comunes son los siguientes:

- ❖ Por dibujo
- ❖ Copias heliográficas
- ❖ Peso de discos de hoja
- ❖ Comparación con una escala de hojas de áreas conocidas
- ❖ Medidores electrónicos de área foliar (fotocélulas)

a) Por dibujo: Cuando se trata de determinar el área foliar de un número relativamente pequeño de hojas y de borde entero, el método más usual consiste en calcar los bordes de las hojas en papel vasto. Luego, recortar el dibujo, pesar y calcular el área en relación con el peso de un área conocida de papel.

b) Por copia heliográfica: Cuando son muchas las hojas que posee una planta, se puede copiar los bordes de las hojas en papel sensible a la luz

Cualquier tipo de papel puede ser sensibilizado para este tipo de trabajo, por medio de un baño en una solución de citrato de amonio férrico y ferrocianuro de potasio. Estas sales deben ser disueltas separadamente en la proporción de 20 g por 100ml de agua; luego, se mezclan las dos sales solo en el momento de usarse.

El papel tratado con las soluciones se debe secar y luego guardar en la oscuridad.

Después de ser expuestos a la luz, se fija la figura de la hoja lavándose en el papel en agua corriente

El área se determina por el método de las pesadas como en el anterior caso puede usarse un planímetro.

c) Por peso de discos de hoja: Este método es especialmente recomendado para trabajos de campo, cuando el área foliar a determinar es excesivamente grande. Para recortar los discos de las hojas se utilizan sacabocados del tipo que emplean los hojalateros para cortar metal. El diámetro de esos sacabocados puede variar según el tamaño de las hojas (1 a 3 cm de diámetro). El método más usual consiste en amontonar las hojas en una bandeja de madera cortando los discos al azar en capas de varias hojas cada vez. Separar posteriormente unos 100 a 100 discos enteros pesándolos a continuación y estableciendo la correlación, peso – área.

Se pesan después todas las hojas, cuya área se desea calcular, y por medio de una regla de tres se determina el área en relación al peso- área previamente conocido.

Se emplea la siguiente fórmula:

$$X = \frac{A * B}{C}$$

Donde:

X = área foliar en cm²

A = peso total de las hojas de una planta en g

B = superficie del disco en cm²

C = peso de 80 discos de hoja en g

d) Por comparación con una escala de hojas de área conocida: Este método se emplea cuando las plantas tienen un número de hojas reducidas y borde muy irregular, como en el caso, de las plantas de tomate, papa, espinaca, etc.

Consiste en dibujar o copiar en papel heliográfico una escala de 10 a 0 hojas por simple comparación visual con la referida escala se determina el área foliar (Rodríguez, 1995).

e) **Planímetro**

Se realizará fotocopiando las hojas completas y utilizando un planímetro se hará la medición del área de cada hoja. Se toma la impresión en papel blanco es decir, se copian los contornos de las hojas con un lápiz de las cuales se desea conocer el área. A las siluetas o figuras numeradas obtenidas se les realiza las mediciones para determinar el área de las hojas. Una forma es utilizando un planímetro. Se planimetrar todas las hojas y se suman obteniéndose el área foliar de la planta (Lallana, 1999).

3.4. Biomasa

De forma genérica, por biomasa se entiende, el conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, que haya tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico.

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis, dando lugar la formación de biomasa vegetal, conocida como fitomasa que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua, productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal (Rodríguez, 2010).

La forma más precisa de medir la capacidad de producción de un árbol o cultivo en un área determinada y en un periodo de tiempo definido, es cuantificando la biomasa total incluye el sistema radical, que también es parte de la producción del vegetal, pero por razones de uso u aprovechamiento de algunos cultivos no es necesaria su determinación.

La biomasa total aérea se refiere a todos los componentes aéreos del vegetal tallo, ramas, hojas, flores, frutos o semillas en un determinado momento de su vida (Salazar, 1992). El

cálculo de la biomasa, definida como la cantidad de materia vegetal presente en una determinada superficie y en un momento concreto, resulta una buena aproximación para determinar y evaluar el nivel de producción de los prados y pastos de montaña. Como norma general, se expresa en unidades de materia seca por unidad de superficie. Su determinación suele realizarse sobre la parte aérea de la vegetación, dada la dificultad de acceder a la materia enterrada y, en el caso de este tipo de estudios, debido al bajo interés que la fracción enterrada supone para la explotación ganadera (Gómez, 2008).

3.4.1. Métodos de determinación de biomasa

La determinación de la biomasa es una de las variables más importantes de un bioproceso ya que su determinación nos lleva a la comprensión de la eficiencia del mismo. Se trata de una variable clave para establecer las tasas de producción, de consumo de nutrientes y el cálculo de los balances de masa de cualquier proceso biológico.

Existen varios métodos para estimar la productividad, que se pueden clasificar en destructivos y no destructivos.

Los métodos destructivos consisten en cortar un determinado número de muestras de material vegetal en una superficie conocida, secarlo en estufa y pesarlo. Estas técnicas son confiables ya que se obtiene el peso de manera directa en lugar de estimarlo, pero insumen mucho tiempo y esfuerzo.

En cambio, los métodos no destructivos permiten estimar la productividad primaria neta de manera indirecta. Si bien siempre es necesario tomar como referencia una cierta cantidad de cortes, es posible tomar cientos de mediciones con un método no destructivo y cortar solamente unas 20 muestras para ajustar los resultados. Esto es una clara ventaja con respecto a los métodos destructivos (t Mannetje, 2000).

3.4.2 Factores que afectan el crecimiento normal

Factores externos:

El crecimiento, como todo proceso fisiológico, está influenciado por los factores del medio externo y, como este proceso depende estrechamente de la energía liberada en la respiración, es comprensible entonces que el crecimiento dependa de la temperatura como principal factor del medio, presentando un mínimo hacia los 5 ó 10°C, un óptimo hacia los 35° y un máximo hacia los 45°.

La luz es también un importante factor del crecimiento. Las plantas que crecen en falta de luz, además de tener un pobre contenido de clorofila, se alargan en su eje longitudinal y muestran retardo en el desarrollo foliar; este fenómeno se denomina ahilamiento o etiolación. La planta etiolada sufre una falta de diferenciación.

Cuando un factor actúa en deficiencia a lo largo de todo el ciclo, la curva de crecimiento es análoga a la normal, pero se va separando de ella paulatinamente, quedando más corta y baja.

Esto se ve en la figura 32, que muestra la desviación de la curva de crecimiento, en maíz, por falta de lluvia y consecuente baja del rendimiento; una curva similar se obtendría en un suelo pobre en nutrientes.

Cuando un factor sufre una desviación brusca de lo normal y luego retorna a un relativo óptimo, la curva del crecimiento registra esta desviación y aunque luego retorne a la marcha normal sufrirá una baja del rendimiento.

Se puede observar que durante unas 5 semanas posteriores a la emergencia, en 1931, prevaleció una temperatura de 2 a 3°C, por lo que el trigo sólo creció a razón de 6 cm/semana, en tanto que en 1932 creció, en ese lapso, a razón de 11 cm/semana.

Este mismo tipo de desviación se presentará si la planta sufre una sequía a mitad del desarrollo.

Factores internos:

El organismo multicelular se caracteriza por un crecimiento organizado de sus diversas partes, que incluye unadiferenciación armónica de los tejidos. Cada especie tiene una determinada forma en sus órganos; en la implantación de las hojas, en su ramificación, etc. La forma de los órganos depende de la distribución de las células, y a su vez ésta depende del plano de división de las células recién formadas. La forma del vegetal descansa, pues, en la polaridad, en la distribución de los cromosomas durante la división celular.

Esta correlación de efectos debe tener como causa inmediata la presencia de sustancias químicas; de hecho, la auxina es importante a este respecto y sin duda las giberelinas y citocininas también juegan un papel, así como los inhibidores. Sin embargo, es muy probable que existan aún otras hormonas de correlación desconocidas. La teoría de que las hormonas son las responsables de esta correlación actualmente no se discute.

3.5. Modelado del crecimiento (Alométricos)

En determinadas circunstancias experimentales, se hace importante conocer la forma por la cual la materia orgánica producida y distribuida en los diferentes órganos de la planta. Esta clase de información puede ser obtenida a través del cálculo de las tasas de crecimiento relativo de las partes de la planta, las cuales son comparadas entre sí o con el crecimiento de todo el organismo. Un ejemplo de estas relaciones Alométricos está dado por el cociente entre el crecimiento de las raíces y de las partes aéreas.

Los modelos alométricos ayudan en el cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales, o de cultivos valiéndose de la correlación existente entre las variables de difícil medición (pesos) y aquellas directamente medidas en inventarios forestales o muestreos (diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total, número de brotes, diámetro de follaje).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

La comunidad de Erquís Norte, pertenece al Municipio de San Lorenzo primera sección de la Provincia Méndez del departamento de Tarija.

Se encuentra localizada en el parte norte del departamento de Tarija, con una orientación Nor este, en proximidad a la serranía de la Cordillera de Sama.

Geográficamente, se encuentra localizado entre los: 20° 55´ 52 Latitud Sud – 64° 42` 09`` Longitud Oeste, con referencia al norte y 21° 34´44`` Latitud Sud – 64° 52´ 53`` Longitud Oeste en su extremo sud, una altura de 2102 msnm (ver mapa N°1).

3.1.2. Características de la zona

Esta localidad se caracteriza por ser una zona que tiene mucha actividad agrícola y pecuaria, como la fruticultura, horticultura constituyéndose en una actividad económica familiar.

3.1.3. Características agroclimáticas

Temperatura promedio: 17,2 °C

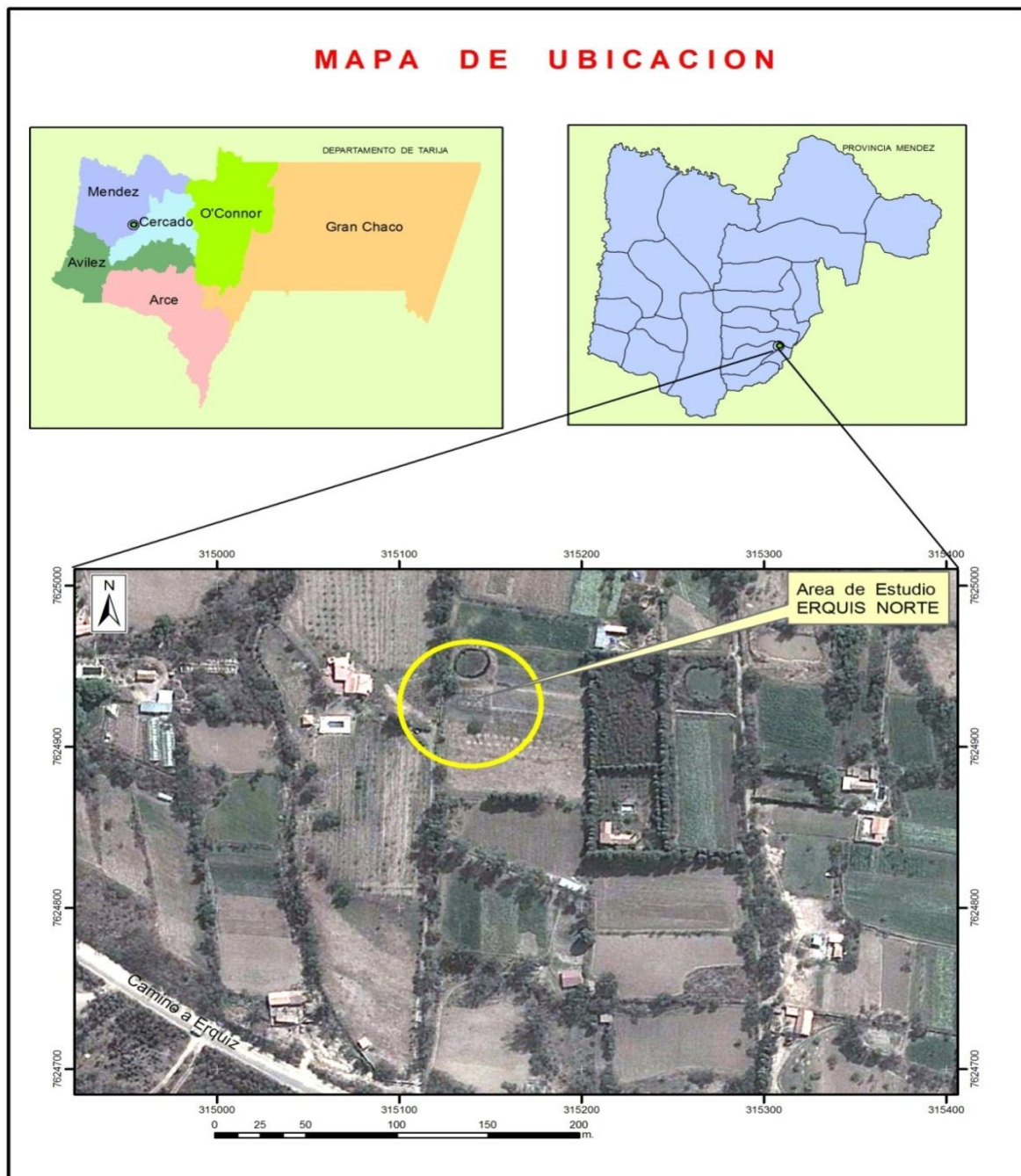
Precipitación anual media: 722,7(mm)

Humedad relativa: 64%

3.1.4. Clima

El clima que presenta la región es templado, semiárido existiendo diferencias marcadas de las estaciones en primavera y verano con temperaturas altas, otoño e invierno y temperaturas bajas sin precipitaciones.

Mapa N°1 Ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.1.5. Temperatura

Presenta una temperatura media anual de 19 °C, en los meses de Junio a Noviembre se registra una temperatura máxima media de 25,2 °C y en Julio con temperatura mínima media de 3,0° C.

3.1.6. Precipitación

La precipitación media anual es de 600mm, donde el periodo lluvioso se extiende desde el mes de octubre hasta abril, alcanzando la máxima precipitación en el mes de enero con 230mm, mientras que la época seca toma los restantes de mayo a septiembre.

3.1.7. Humedad relativa

La humedad relativa es moderada, con un promedio anual de 60%, sobrepasando este valor durante los meses de diciembre a abril. Una de las características interesantes con respecto a la humedad es la presencia de aire húmedo y frío en las estaciones de invierno que, acompañadas de vientos, dan origen a una sensación térmica diferente a la observada en los termómetros.

3.1.8. Evaporación

Los valores de evaporación y evapotranspiración potencial llegan a 1760 y 1272 mm. Respectivamente, lo que indica déficit máximo de 675 mm. mensuales al final de la estación seca. Los meses más críticos son de agosto a septiembre, como puede verse en la figura 2. Los meses de balance hídrico positivo (diciembre-febrero) son utilizados para realizar la mayor parte de los cultivos agrícolas.

3.1.9. Vientos

De julio a octubre la velocidad de los vientos alcanza de 18 a 36 Km/h, con eventos extraordinarios de 90 Km/h. La frecuencia de vientos del Sur y Sur este. Los vientos son considerados como moderados y no constituyen un peligro para la agricultura.

3.1.10. Heladas

Ocurren en los meses de junio a septiembre, con ocurrencia de heladas hasta 26 días al año. Considerando la información de 30 años de registro, se puede llegar a estimar la probabilidad del régimen de heladas. El periodo libre de heladas esta alrededor de 273 días, quedando un periodo medio con heladas de 92 días comprendidas entre el 25 de mayo y el 25 de agosto. Los efectos negativos se presentan generalmente en toda la cuenca, limitando el desarrollo de cultivos agrícolas.

3.1.11. Vegetación Nativa

Se tiene:

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO |
|--------------|------------------------|
| Molle | Schinus molle |
| Chañar | Geoffraea de corticans |
| Churqui | Acacia cavenia |
| Taco | Prosopis alpataco |
| Sauce | Salixsp. |

Principales cultivos agrícolas

Tubérculos

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO |
|--------------|-------------------|
| Papa | SolanunTuberosun |

Gramíneas

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO |
|--------------|-------------------|
| Maíz | Zeamays |
| Avena | Avena sativa |

Leguminosas

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO |
|--------------|-------------------|
| Arveja | Pisumsativum |
| Maní | Arachishypogenea |
| Poroto | Vignosinensis |

Hortalizas

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO |
|--------------|--|
| Zanahoria | <i>Daucus carota</i> |
| Cebolla | <i>Allium cepa</i> |
| Tomate | <i>Lycopersicon esculentum</i> |
| Repollo | <i>Brassica oleracea var. capitata</i> |
| Zapallo | <i>Cucurbita maxima</i> |
| Coliflor | <i>Brassica oleracea var. botrytis</i> |
| Brócoli | <i>Brassica oleracea var. Italica</i> |
| Lechuga | <i>Lactuca sativa</i> |
| Acelga | <i>Beta vulgaris</i> |
| Espinaca | <i>Spinacia oleracea</i> |

Frutales

| NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO |
|--------------|----------------------------|
| Durazno | <i>Prunus pérsica</i> |
| Ciruelo | <i>Prunus doméstico</i> |
| Manzana | <i>Malus silvestris</i> |
| Nogal | <i>Juglans regia</i> |
| Higuera | <i>Ficus carica</i> |
| Frutilla | <i>Fragaria chiloensis</i> |
| Frambuesa | <i>Rubus rosaefolius</i> |
| Pera | <i>Pyrus communis</i> |
| Membrillo | <i>Sidonia oblonga</i> |

Fuente: PDM-Municipio de San Lorenzo

3.1.12. Producción pecuaria

La producción pecuaria en esta comunidad está compuesta principalmente de la ganadería vacuna, ovina, caprina, porcina, equinos y aves.

3.1.13. Actividad Económica

En la zona de Erquís Norte se tiene como principales actividades el cultivo de hortalizas también el cultivo de la frutilla , la manzanilla que muestran mucha rentabilidad entre otros, lo que constituye una fuente de ingresos económicos para los agricultores.

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetal:

Se realizó con variedad:

Spinacia oleracea var. Espinosa Moerch

Se utilizó como fertilizantes y abonos

Triple 15

Estiércol de bovino

Se utilizó restos orgánicos para mejorar el suelo

3.2.2. Material de campo:

Letreros

Flexómetro

Cuerdas

Estacas

Machete

Combo

3.2.3. Equipos e instrumentos:

Computadora

Planimetro digital

Balanza

Horno secador

Azadones

Palas

Rastrillo

Arado

Rastra

3.2.4. Material de registro

Libreta de registro

Planillas

Máquina fotográfica

Y otros

3.3. Metodología

Las actividades que se ejecutaron para la realización de la presente investigación consistieron básicamente en dos fases:

3.3.1. Fase de Gabinete y Laboratorio

Consistió en recopilar información referida al tema y al área de estudio. La misma fue obtenida de Internet, la biblioteca y el Municipio de Méndez. Con ella se planificó el

trabajo de campo, redacción del documento. En Laboratorio se procesó las muestras para el secado y cálculo de biomasa y la determinación del área foliar por planimetrado.

3.3.2 Fase de Campo o Instalación del cultivo

3.3.2.1. Preparación de la almaciguera

El almacigo se ubicó cerca del lugar donde se llevará a cabo la plantación del cultivo, la preparación de la misma comenzó a partir del 25 de Agosto de 2012, con nivelación y preparación de sustrato de textura franco, en una superficie de 1 m².

3.3.2.2 Almacigado

Se realizó el almacigado en forma manual el 1 de Septiembre, la siembra fue al voleo, luego se cubrió las semillas con tierra vegetal y se procedió al riego abundante con regadera, quedando protegida con plástico blanco.



Foto N° 1. Siembra en almaciguera

3.3.2.3 Cuidados culturales del almacigo

Se aplicó riegos cada 2 días, verificándose el inicio de la germinación a partir del 30 de septiembre hasta el 10 de Octubre se tuvo una germinación aproximada del 95 %.

3.3.2.4. Preparación del terreno

Para la preparación del terreno, se procedió con el arado con animales, revolviendo el terreno de manera adecuada. Luego de estas labores se procedió a la nivelación y demarcación de la parcela en forma manual, aplicando abonos orgánicos como el estiércol de vaca, tierra vegetal y triple 15.



Foto N° 2 Preparación del terreno con animales y forma manual

3.3.2.5. Trasplante

Con terreno semihúmedo en una superficie de 10 por 8 m se realizó el trasplante el 2 de Noviembre del 2012, a partir de pasado el medio día para asegurar el prendimiento. El marco de plantado fue 60 cm de surco a surco y 40 cm entre planta y planta, las plántulas

tenían una altura fluctuante entre 1,5 a 4,0 cm, posteriormente se procedió a regar por inundación.



Foto: N° 3 Trasplante y riego posterior de la espinaca

3.3.2.6. Labores culturales

Aporque

El aporque se realizó manualmente con la ayuda de azadones el 16 de noviembre después del trasplante, con la incorporación de 15-15-15.

Riego

La aplicación de riego se realizó de acuerdo a la capacidad de retención de agua del suelo y las necesidades de la planta, después del trasplante se aplicó riego cada 6 a 7, suspendiéndose el mismo con la ocurrencia de precipitación.

Control de malezas

El control de malezas se realizó en forma manual con la ayuda de azadones y azadas.

Cosecha

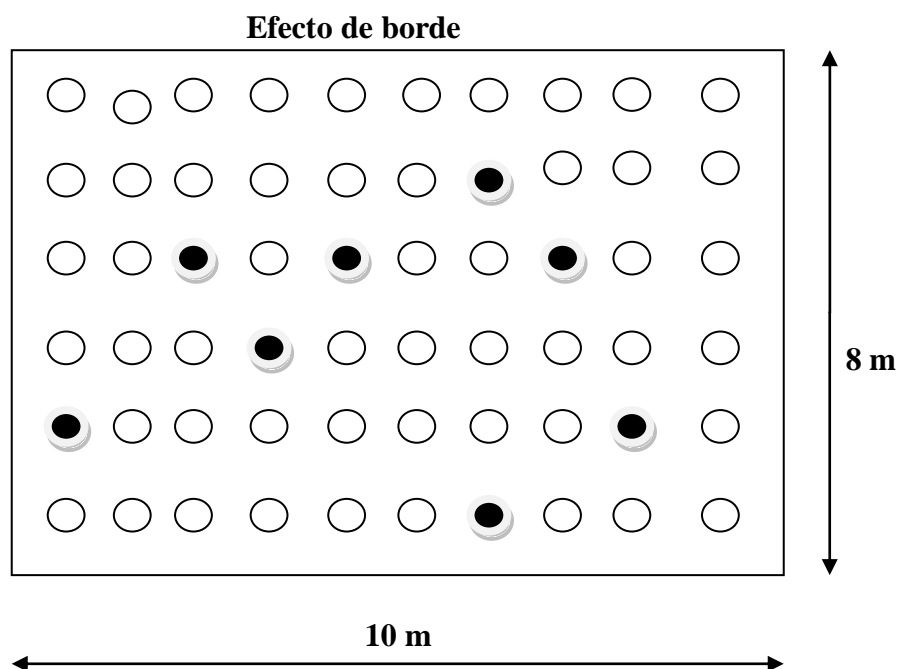
Se realizó la cosecha de las cabezas cuando alcanzaron su maduración comercial que fue el 20 de Diciembre, después de realizada la última evaluación de la investigación, en ese momento las plantas alcanzaron alturas promedio a 37,72 cm.



Foto N° 4 Planta cosechada en diciembre

3.4. Muestreo

Los muestreos se realizaron cada 20 días, tomando de la parcela ocho plantas al azar, para un total de 3 muestreos (ver croquis adjunto). En lo posible se eligió plantas de tamaño pequeño, medio y grande. En todo el contorno de la parcela se dejó un metro sin medir o muestrear para evitar efecto de borde. Las variables medidas fueron: altura, diámetro de la parte aérea, biomasa aérea, biomasa seca, lámina de las hojas y área foliar por planta.



Altura: En la parcela se tomarán 8 medidas de altura de plantas y se calculará su valor medio. Se medirá con una regla o varilla graduada de un metro, tomándose la altura de la planta hasta la última hoja (bandera) en su posición normal en pie.

Diámetro de la parte aérea: A las mismas plantas que se midió la altura, se registró su diámetro en cruz, para luego por promedio se obtenga un solo valor con el cual se calcula la superficie cubierta por la parte aérea empleando la fórmula de la circunferencia:

$$C = \pi r^2$$

Como la superficie que cubre el follaje en el suelo no es una circunferencia perfecta y para no sesgar los cálculos a los valores de superficie obtenidos se le disminuye el 10 % de la superficie calculada, con este dato se calcula el índice de área foliar.

Biomasa: Las ocho plantas serán pesadas para obtener el peso fresco/planta (considerar sólo las partes verdes, eliminar lo seco). Luego se separarán las láminas de las hojas y se pesarán para obtener el peso fresco de hojas de la planta entera. **Los valores se expresarán por planta individual** (promedio de las ocho plantas) **y por muestreo.**



Foto N° 5 Pesado de hojas en Laboratorio para obtener factor R

Posteriormente se llevarán las láminas y el resto a estufa a 80 °C por 48 horas para determinar el peso seco según procedimiento de Salazar (1992). De esta forma se podrán calcular el factor de transformación (R) de peso verde a peso seco o masa seca.

$$R = P_s / P_v$$

Área foliar (AF): se procederá según Rodríguez (1995) de la siguiente forma:

- 1- Dibujar o calcar el contorno de las láminas en papel oficio de 70 g;
- 2- Luego proceder a planimetrar numeradas las hojas y sumar las superficies parciales para obtener el área foliar por planta.
- 3- Repetir el proceso con las siete plantas restantes y luego se obtiene el valor promedio del área foliar de las ocho plantas por muestreo.

Con los valores promedios de los tres muestreos (ocho plantas por muestreo se procede a calcular los índices de crecimiento según Rodríguez (1995).

Finalmente se utilizó modelos alométricos para relacionar las variables levantadas con el uso de paquete estadístico Curva expert versión 5.1 y con el apoyo de indicadores estadísticos se realizó la selección de las ecuaciones de mejor ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la primera medición realizados el 9 de Noviembre del 2012, a los 7 días de realizado el trasplante, cuando las plantas tenían 30 días después de concluida la germinación, nos permiten realizar los primeros cálculos cuyos datos se muestran a continuación:

Cuadro N° 1 Primer Registro de Variables realizado el 9/11/12

| N° | Altura (cm) | Diámetro aéreo (cm) | Área Foliar (Cm ²) | Peso Verde Hojas (gr) | Peso Seco Hojas (gr.) |
|----|--------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 4 | | 13,2 | 1,2 | 0,2 |
| 2 | 3 | | 20,7 | 1,7 | 0,2 |
| 3 | 2,5 | | 12,6 | 1,2 | 0,1 |
| 4 | 5 | | 50,9 | 4,4 | 0,5 |
| 5 | 6 | | 67,8 | 5,8 | 0,5 |
| 6 | 4 | | 13,8 | 1,5 | 0,2 |
| 7 | 3 | | 19,8 | 1,8 | 0,3 |
| 8 | 3 | | 20,7 | 1,7 | 0,2 |
| | X=3,8 | | 27,4 | 2,4 | 0,28 |

El área foliar promedio por planta en el primer momento del ensayo es de 27,4 cm². El peso verde promedio es de 2,4 gr, con altura promedio de 3,8 cm por planta. Es de hacer notar que no se registro los diámetros de la parte aérea por ser estos mínimos.

Con los datos del peso verde y peso seco de hojas se procedió a la obtención del factor de transformación de acuerdo a la formula:

$$R = \frac{PVH}{PSH}$$

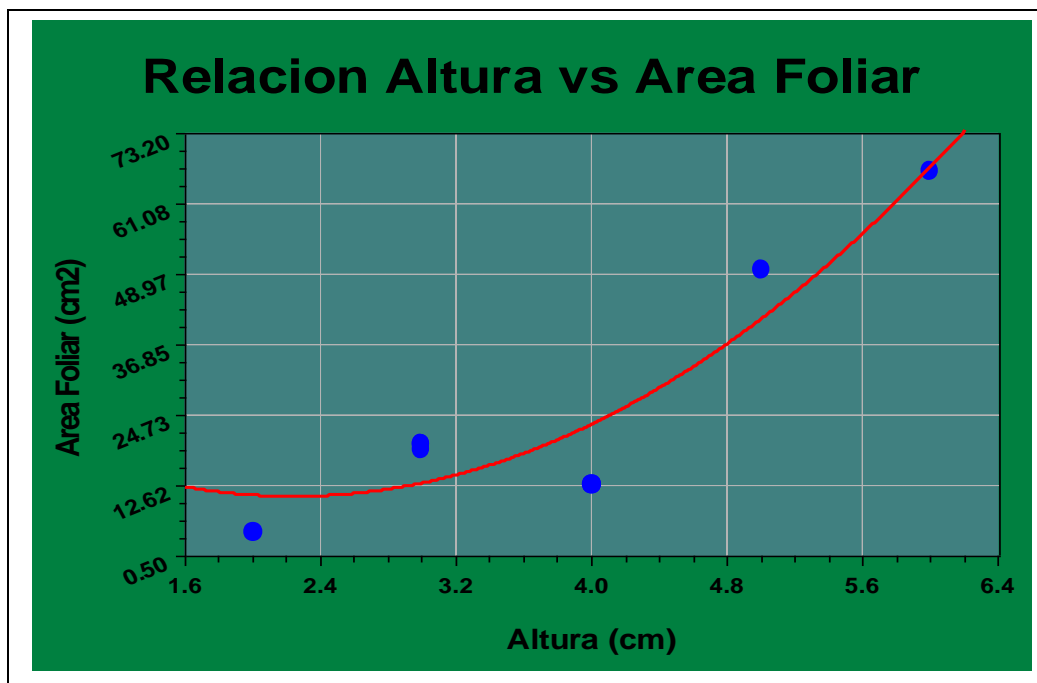
$$R = \frac{0,28}{2,4} = 0,11$$

Este valor permite transformar el peso verde de hojas en su respectivo peso seco, es decir, multiplicando R por el peso verde hojas:

$$PSH = PVH * R = 2,4 * 0,11 = 0,26 \text{ gr.}$$

De relacionar las variables como altura con área foliar, altura con peso verde de hojas se generaron las ecuaciones y graficas alométricas que se muestran a continuación:

Gráfica N° 1 Relación altura con área foliar por planta, modelo cuadrático



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al menor error estándar (E) y el mayor coeficiente de determinación (R^2), se eligieron los mejores modelos alométricos, resultando el modelo cuadrático de mejor ajuste para la altura y el área foliar, cuyo modelo y coeficientes se encuentran en el cuadro N° 2 (N°1), el coeficiente de 0,95 demuestra que existe elevada relación entre las variables correlacionadas y que es posible emplear el mismo para estimar la variable de difícil medición como es el área foliar; la grafica N° 1 muestra la tendencia del modelo ajustado.

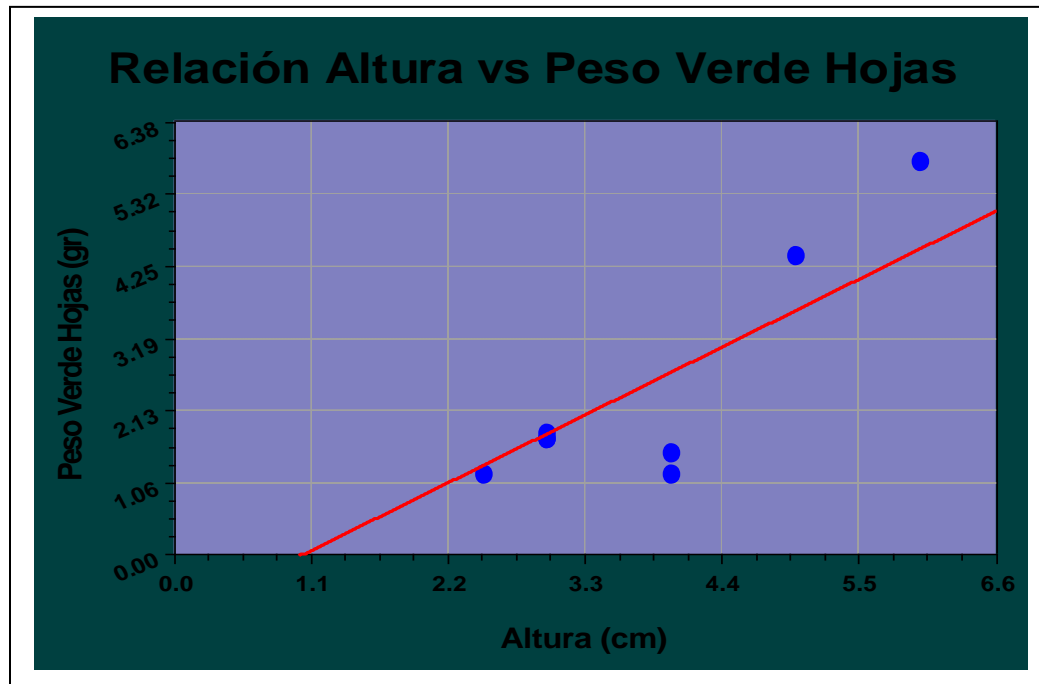
Cuadro N° 2 Modelos Alométricos mejor ajustados para la primera medición

| N° | VAR. DEP. | MODELO | VAR. INDE. | R^2 | SIGNIFI | E.S. |
|----|------------------|--|------------|-------|---------|-------|
| 1 | Área Foliar | $31.09 - 18\text{Alt} + 4.02 \text{Alt}^2$ | Altura | 0.968 | *** | 0.072 |
| 2 | Peso Verde hojas | $- 0.934 + 0.91\text{Alt}$ | Altura | 0.86 | *** | 0.99 |

*** $p < 0,001$

La relación entre la altura y el peso verde de hojas se explica de mejor manera con el modelo lineal, con un R^2 de 0,86 valor confiable para estimar la variable dependiente peso de hojas verdes, el error estándar es bajo incrementando la confiabilidad en su uso (ver cuadro 2, modelo N° 2. La tendencia de la curva se muestra en la grafica N°2.

Gráfica N°2 Relación altura con peso verde foliar por planta, modelo lineal



Fuente: Elaboración propia

La segunda medición realizada el 29 de Noviembre del 2012, a un intervalo de 20 días después de la primera evaluación, los datos se resumen en cuadro N° 3.

En el cuadro N° 3 se observa que la altura promedio de las ocho plantas muestreadas fue de 19,1 cm, este se incremento 15,3 cm en ese intervalo de tiempo.

El área foliar promedio alcanzó un valor de 210,62 cm² aumento considerablemente, lo cual permitió levantar datos del diámetro de la parte aérea, cuyo promedio es de 14,4 cm.

Utilizando los valores de peso verde y peso seco de hojas del cuadro (N° 3) se procedió a obtener el factor de transformación R:

$$R = \frac{PSH}{PVH} = \frac{1,62}{8,5} = 0,19$$

El valor encontrado también se incrementó en relación al de la primera medición, esto debido seguramente a la edad de la planta, ya que como sustenta Rodríguez (2010), al aumentar la edad las hojas se dotan de mayor cantidad de tejido de resistencia como es el tejido colenquimático.

Cuadro N° 3 Segundo Registro de Variables realizado el 29/11/12

| N° | Altura (cm) | Diámetro Aéreo(cm) | Área Foliar (cm ²) | Peso Verde Hojas (gr) | Peso Seco Hojas (gr.) |
|--------------|-------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 27 | 22,2 | 290,1 | 11,3 | 1,82 |
| 2 | 14,5 | 9,8 | 288,3 | 10,0 | 1,93 |
| 3 | 18 | 13,4 | 191,1 | 6,3 | 1,34 |
| 4 | 23 | 18,2 | 256,6 | 9,7 | 1,95 |
| 5 | 16 | 11,2 | 131,8 | 5,7 | 1,3 |
| 6 | 20 | 16,4 | 205,5 | 8,6 | 1,39 |
| 7 | 16 | 10,8 | 130,5 | 9,9 | 1,9 |
| 8 | 18 | 13,1 | 191,1 | 6,3 | 1,34 |
| PROM. | 19,1 | 14,4 | 210,62 | 8,5 | 1,62 |

El cálculo del índice de área foliar, se realiza utilizando el área foliar promedio y el diámetro aéreo promedio con su respectiva transformación de unidad de medida, el procedimiento es como sigue:

Diámetro (d): 14,4 cm es igual 0,144 m; $r = d/2 = 0,144/2 = 0,072$ m

Área de círculo $A = \pi * r^2 = 3.1416 * (0,072)^2 = 0,017$ m²

Restando el 10 % del área por margen de seguridad se tiene:

Área real = 0,017 – 0,0017 = 0,0153 m²

Transformando la unidad del área foliar a dm² se tiene:

Área Foliar = 210,62/100 = 2,1062 dm²

Entonces el índice de área Foliar (IAF) es:

$$\text{IAF} = 2,1062/0,0153 = 137,66 \text{ dm}^2/\text{m}^2$$

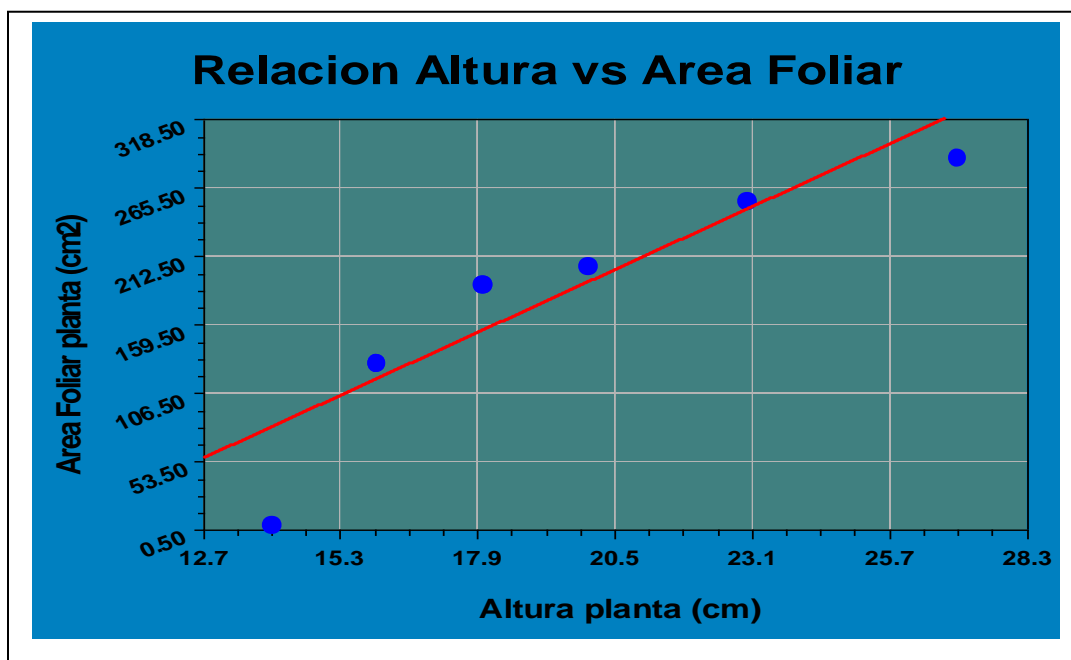
Luego procedemos a encontrar el área foliar específica (AFE), con su ecuación que se muestra a continuación:

$$\text{AFE} = \text{Área foliar total} / \text{Peso seco foliar total}$$

$$\text{AFE} = 0,021062 / 1,62 = 0,013 \text{ m}^2/\text{gr}$$

La relación entre las variables altura, área foliar, y peso verde de hojas, para encontrar los modelos alométricos, se efectuó con el programa curva expert, tanto los modelos como sus gráficas se muestran a continuación.

Gráfica N° 3 Relación Altura con Área foliar por planta, modelo Lineal



Fuente: Elaboración propia

La grafica N° 3 muestra la tendencia lineal del mejor ajuste entre la altura y el área foliar de las plantas en la segunda medición. El modelo alométrico, los coeficientes, el error y el coeficiente de determinación se muestran en el cuadro N° 4 (número 3), se observa bajo error y elevado coeficiente de determinación, siendo confiable la utilización del mismo para estimar el área foliar en función de la altura.

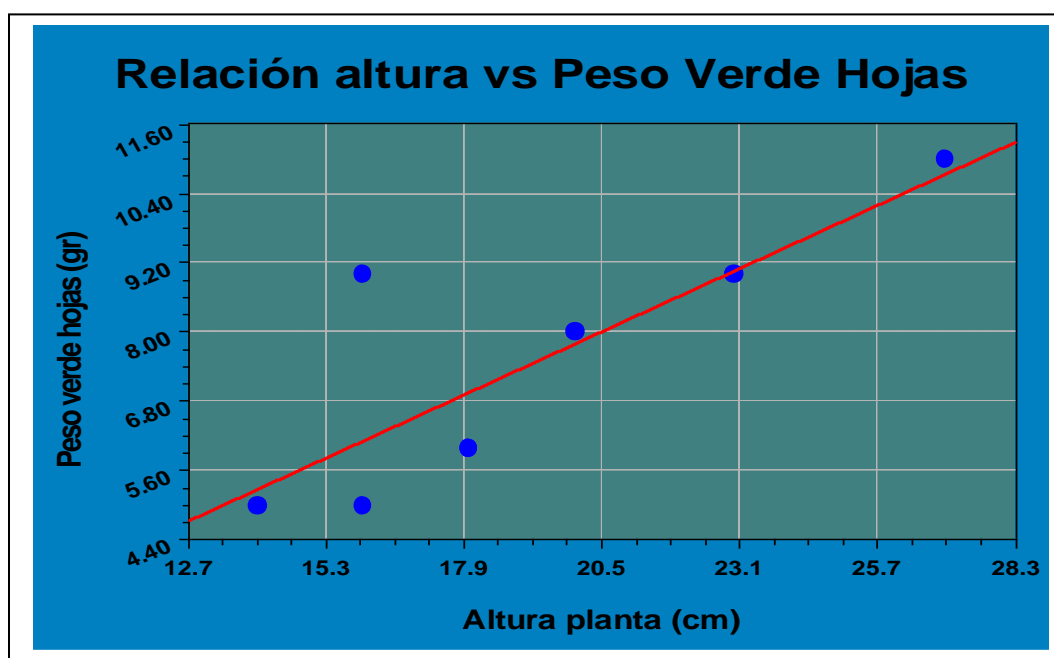
Cuadro N° 4 Modelos Alométricos mejor ajustados para la segunda medición

| N° | VAR. DEP. | MODELO | VAR. INDE. | R ² | SIGNIFI | E.S. |
|----|------------------|--------------------------|---------------|----------------|---------|-------|
| 3 | Área Foliar | - 180.45 + 18.722. Altu. | Altura | 0.90 | *** | 40.60 |
| 4 | Peso Verde hojas | - 0.62 + 0.42. Altu. | Altura | 0.81 | *** | 1.39 |

*** p < 0,001

La relación entre la altura y peso verde de hojas, es como en el caso anterior un modelo lineal, la grafica (N° 4) deja apreciar la tendencia y la nube de datos que permitieron el ajuste de la misma. En el cuadro (N° 4), se verifica el coeficiente de determinación R² de 0,81 que indica que existe una fuerte correlación entre las variables involucradas, siendo factible su utilización.

Gráfica N° 4 Relación Altura con Peso verde hojas por planta, modelo Lineal



Fuente:Elaboración propia

La tercera y última medición se realizó el 19 de Diciembre, a un intervalo de 20 días, los valores registrados y que se emplean para realizar la evaluación completa del crecimiento de la especie se muestran en cuadro N° 5.

Cuadro N° 5 Tercer Registro de variables realizado el 19/12/12

| N° | Altura (cm) | Diámetro aéreo (cm) | Área Foliar (Cm2) | Peso Verde Hojas (gr) | Peso Seco Hojas (gr.) |
|-------------|--------------|---------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 45 | 41,3 | 1539,8 | 132,2 | 25,1 |
| 2 | 36,5 | 30,8 | 610,7 | 30,5 | 5,8 |
| 3 | 47 | 42,2 | 1018,3 | 81,5 | 15,5 |
| 4 | 30,3 | 25,7 | 824,1 | 54,6 | 10,4 |
| 5 | 32 | 27,5 | 1990,9 | 73,1 | 13,9 |
| 6 | 33 | 27,6 | 840,5 | 74,2 | 14,1 |
| 7 | 31 | 28,0 | 920,3 | 69,8 | 13,3 |
| 8 | 47 | 40,2 | 1018,3 | 81,5 | 15,5 |
| PROM | 37,72 | 32,9 | 1095,4 | 74,7 | 14,2 |

En el cuadro N° 5, apreciamos una altura promedio de 37,72 cm, las mayores alturas de plantas fueron de 47 cm, registrándose un incremento promedio de 18,62 cm en relación a la segunda medición. El diámetro aéreo promedio fue de 32,9 cm con incremento de 18,5 cm. El área foliar promedio se incrementó 884,75 cm² en 20 días, es de resaltar que aumento el número y tamaño de las hojas. De manera similar se incremento el peso verde de hojas en 66,2 gr, lo cual es importante considerando que lo que se comercializa de la plantas son las hojas verdes. Finalmente el peso seco de hojas aumento en 12,58 gr.

Siguiendo el procedimiento de cálculos realizados con datos de la segunda medición, se procede con los valores de la última evaluación:

$$\text{Área de círculo } A = \pi * r^2 = 3.1416 * (0,165)^2 = 0,086 \text{ m}^2$$

$$\text{Área real} = 0,086 - 0,0086 = 0,0774 \text{ m}^2$$

$$\text{Área foliar} = 1095,4/100 = 10,954 \text{ dm}^2$$

$$\text{IAF} = 10,954/0,0774 = \mathbf{141,52 \text{ dm}^2/\text{m}^2}$$

El índice de área foliar se incrementó en $3,86 \text{ dm}^2/\text{m}^2$, este valor permite estimar el tiempo requerido para cubrir una determinada superficie de terreno (Flórez y otros, 2006).

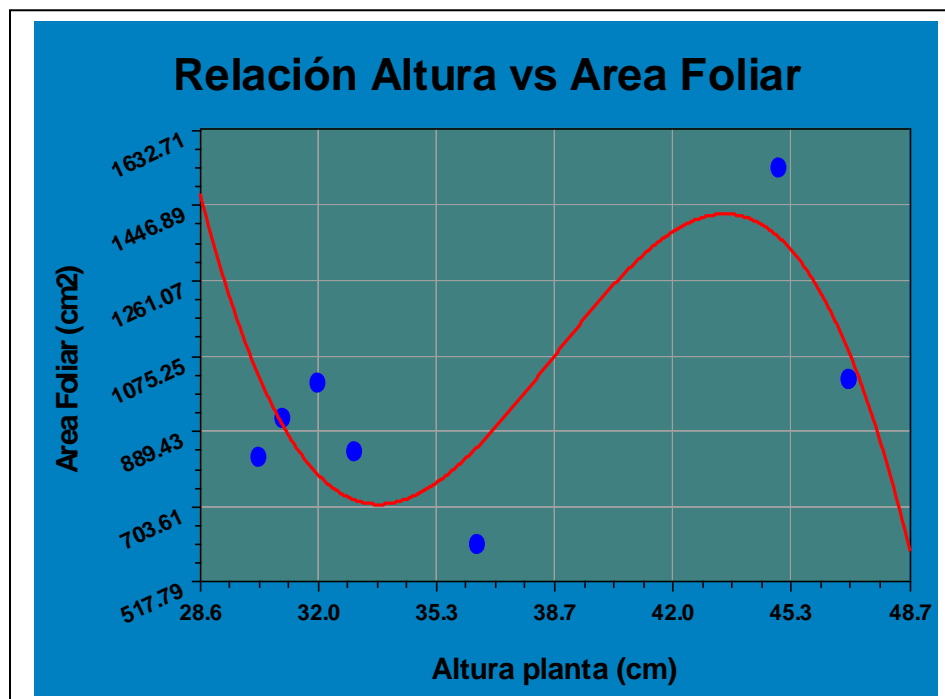
A continuación calculamos el área foliar específica (AFE), con su ecuación que se muestra a continuación:

$$\text{AFE} = \text{Área foliar total} / \text{Peso seco foliar total}$$

$$\text{AFE} = 0,10954 / 14,2 = \mathbf{0,0077 \text{ m}^2/\text{gr}}$$

El AFE encontrado es inferior al encontrado para la segunda medición, posiblemente sea debido a que el peso seco se incremento en más del 100 % en relación a la segunda evaluación.

Gráfica N° 5 Relación Altura con Área foliar por planta, modelo polinomial



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica N° 5, muestra la tendencial polinomialde tercer orden ajustado entre la altura de plantas y su área foliar a los cuarenta días de establecido el cultivo. La relación

alométrica presenta elevado error estándar, sin embargo el R^2 encontrado es 0,77, es posible emplear el modelo teniendo presente que existe un 33 % de inseguridad de estimación (ver modelo N° 5 en el cuadro N° 6).

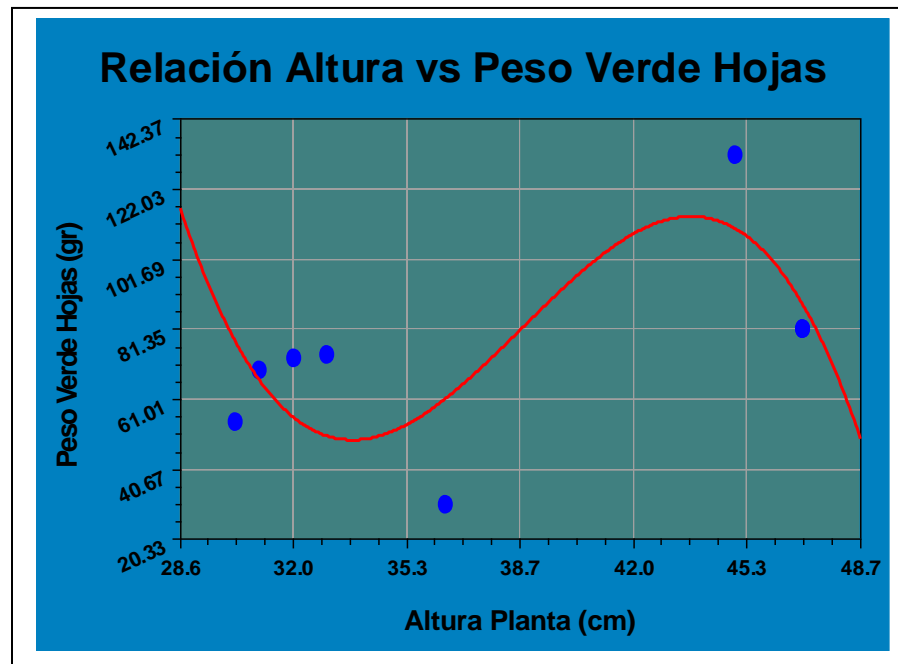
Cuadro N° 6 Modelos Alométricos mejor ajustados para la tercer medición

| N° | VAR. DEP. | MODELO | VAR. INDE. | R ² | SIGNIFI | E.S. |
|----|------------------|--|------------|----------------|---------|-------|
| 5 | Área Foliar | $-84524.9 + 6713.07 * \text{Alt.} + 176.95 * \text{Alt.}^2 - 1.53 * \text{Alt.}^3$ | Altura | 0.77 | *** | 225.4 |
| 6 | Peso Verde hojas | $-7248.50 - 575.09 * \text{Alt.} + 15.11 * \text{Alt.}^2 - 0.13 * \text{Alt.}^3$ | Altura | 0.70 | *** | 27.03 |

*** $p < 0,001$

La relación entre la altura y el peso verde de hojas es también del tipo polinomial de tercer orden, su tendencia se aprecia en la gráfica N° 6. El modelo encontrado presenta bajo error estándar y el coeficiente R^2 es 0,70, se debe tener presente que la estimación con el mismo tiene un 30 % de inseguridad (ver modelo N° 6 en cuadro N° 6).

Gráfica N° 6 Relación Altura con Peso verde hojas por planta, modelo polinomial



Fuente: Elaboración propia

Con los datos de las tres mediciones se procedió a graficar el crecimiento relacionando la altura en función del tiempo, la tendencia del modelo es cuadrático (ver gráfica N° 7). Los valores de los coeficientes se muestran en el cuadro (N° 7), el error estandar es nulo o cero y el R^2 tiene un valor de 1, lo cual demuestra que el ajuste es perfecto.

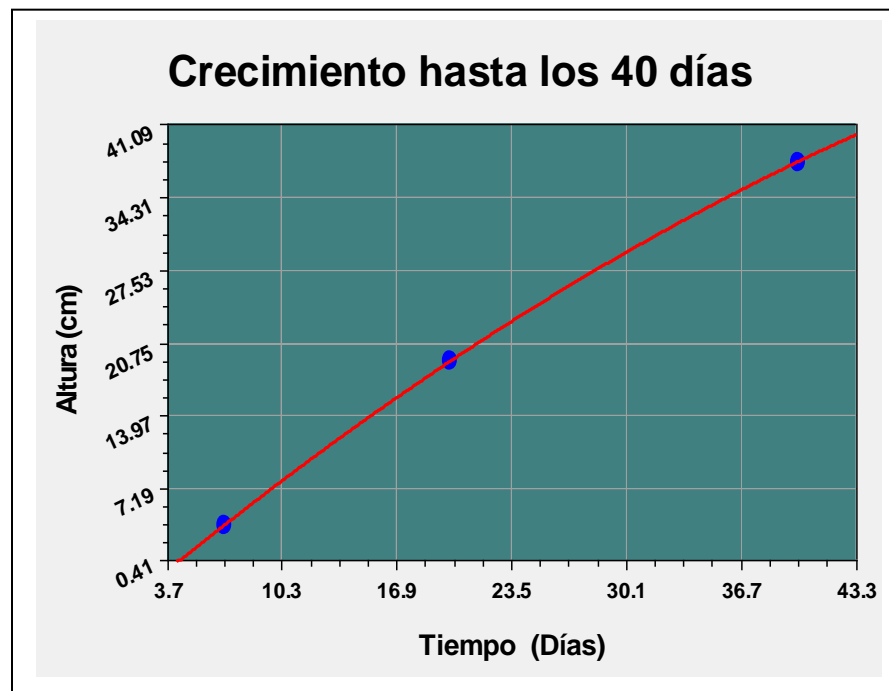
Cuadro N° 7 Modelo Alométricuadrático ajustado para el crecimiento en 40 días.

| N° | VAR. DEP. | MODELO | VAR. INDE. | R ² | SIGNIFI | E.S. |
|----|--------------|---|---------------|----------------|---------|------|
| 7 | Altura | $-5.49 + 1.38 * \text{Tiemp.} - 0.0075 \text{Tiemp.}^2$ | Tiempo | 1.0 | *** | 0.0 |

*** $p < 0,001$

Gráfica N° 7 Modelo para ajuste del crecimiento relación Tiempo con Altura.

Cuadrático



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1.- El área foliar ha sido posible determinar por el método empleado, se observó un incremento considerable del mismo a partir del trasplante, alcanzando el mayor valor a los 40 días con $1095,4 \text{ cm}^2$. El incremento que se obtuvo entre la segunda y tercera medición fue de $884,78 \text{ cm}^2$.

2.- El índice de área foliar (IAF) aumentó mínimamente con el tiempo a los 40 días tomó el valor $141,52 \text{ dm}^2/\text{m}^2$. El incremento en 20 días fue de $3,86 \text{ dm}^2/\text{m}^2$, lo cual es debido a que el cultivo finaliza el crecimiento vegetativo, para dar inicio al crecimiento reproductivo.

Respecto al área foliar específica (AFE) tuvo una variación inversa con el tiempo (20 días), el mayor valor fue a los 20 días de realizado el trasplante de $0,013 \text{ m}^2/\text{gry}$ a los 40 días de $0,0077 \text{ m}^2/\text{gr}$, es posible se deba al incremento de tejidos de resistencia y envejecimiento de las células que incrementa el peso seco de las hojas.

4.- En las dos primeras mediciones el modelo alométrico lineal fue el que mejor ajusto las variables relacionadas, es decir altura con área foliar y altura con peso verde de hojas. En la tercera medición el modelo alométrico polinomial fue en los dos casos el que mejor relacionó las variables indicadas anteriormente.

5.- Se graficó el crecimiento para el ciclo vegetativo del cultivo, relacionando la altura en función del tiempo, resultando un modelo cuadrático perfecto, sin error de estimación y un coeficiente de determinación con valor 1, que indica una total correlación entre las variables emparentadas.

6.- Finalmente la tasa promedio de incremento en altura para el cultivo fue de $16,96 \text{ cm}$ en 20 días, que fue el intervalo de tiempo entre mediciones sucesivas.

RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda emplear la metodología para realizar el análisis de crecimiento de otros cultivos del departamento de Tarija, por obtenerse de manera confiable los índices de crecimiento.

- 2.- Realizar otros estudios con la especie, efectuando mediciones a intervalos menores de tiempo, para ampliar el cálculo de más índices fisiológicos del crecimiento y profundizar el conocimiento del comportamiento del cultivo en la zona de estudio y planificar de mejor manera su aprovechamiento.

- 3.- Es posible el empleo de los modelos alométricos encontrados, para estimar las diferentes variables del crecimiento, evitando el uso de métodos destructivos de plantas, ya que los coeficientes de estimación presentan valores confiables.

- 4.- Realizar estudios de respuesta del cultivo ante condiciones ambientales modificadas como estrés hídrico y fertilización empleando los índices fisiológicos determinados en el presente estudio.