

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Curva de absorción de nutrimentos en cebolla *Allium cepa* cv. Aquarius y ajo *Allium sativum* cv. Criollo.

Iván Pacheco Bejarano

962270

Práctica Dirigida de Graduación presentada para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2013

DEDICATORIA

**A mis padres Javier y Amarilys por su apoyo
constante e incondicional**

**A mi esposa Andrea y a mi querida hija Arianna
por ser mi inspiración**

AGRADECIMIENTOS

Al director de la Práctica Dirigida el M.Sc. Gilberto Cabalceta Aguilar, del Centro de Investigaciones Agronómicas, por la colaboración y guía en el desarrollo del trabajo de investigación.

Al Centro Agrícola Cantonal de Santa Ana, por el apoyo brindado durante la toma muestras y la preparación de las mismas.

A los productores Juan Miguel Córdoba Montoya y José Sandí Bustamante por abrirme la cerca de sus fincas y permitirme conocer mejor los cultivos de ajo y cebolla.

A los revisores del presente trabajo, Dr. Carlos Henríquez Henríquez, Lic. Juan C. Méndez Hernández y al Dr. Rafael Salas Camacho, del Centro de Investigaciones Agronómicas, por la orientación brindada en la confección y redacción del presente estudio.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Título de Práctica Dirigida: Curva de absorción de nutrimentos en cebolla *Allium cepa* cv. Aquarius y ajo *Allium sativum* cv. Criollo.

Miembros del Tribunal Examinador y Postulante

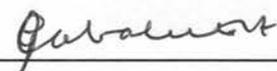
Dr. Alfredo Alvarado Hernández

PRESIDENTE



M. Sc. Gilberto Cabalceta Aguilar

DIRECTOR DE PRÁCTICA DIRIGIDA



Dr. Carlos Henríquez Henríquez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Lic. Juan C. Méndez Fernández

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Dr. Rafael Salas Camacho

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Iván Pacheco Bejarano

POSTULANTE



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|------------|
| RESUMEN..... | vi |
| LISTA DE CUADROS..... | vii |
| LISTA DE FIGURAS..... | x |
| LISTA DE ANEXOS..... | xi |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 4 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 3. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 3.1 AJO..... | 5 |
| 3.1.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL AJO..... | 5 |
| 3.1.2 GENERALIDADES DEL CULTIVO DEL AJO..... | 5 |
| 3.1.3 NECESIDADES AMBIENTALES DEL AJO..... | 8 |
| 3.1.4 NECESIDADES EDÁFICAS DEL AJO..... | 9 |
| 3.1.5 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO..... | 10 |
| 3.2 CEBOLLA..... | 14 |
| 3.2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA..... | 14 |
| 3.2.2 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA..... | 14 |
| 3.2.3 NECESIDADES AMBIENTALES DE LA CEBOLLA..... | 16 |
| 3.2.4 NECESIDADES EDÁFICAS DE LA CEBOLLA..... | 17 |
| 3.2.5 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO..... | 18 |
| 3.3 FUNCIÓN DE NUTRIMENTOS EN LOS CULTIVOS DE AJO Y CEBOLLA..... | 22 |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 28 |
| 4.1 LOCALIZACIÓN..... | 28 |
| 4.2 MATERIAL DE SIEMBRA..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3 RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS..... | 28 |
| 4.3.1 MUESTRAS DE SUELO..... | 28 |
| 4.3.2 MUESTRAS DE TEJIDOS..... | 29 |
| 4.4 LABORES DE SIEMBRA Y COSECHA..... | 30 |
| 4.5 FERTILIZACIÓN..... | 31 |
| 4.6 ANÁLISIS DE DATOS..... | 32 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 33 |
| 5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN: AJO..... | 33 |
| 5.1.1 ANÁLISIS DE SUELOS..... | 33 |
| 5.1.2 CONDICIONES AMBIENTALES Y RENDIMIENTO..... | 33 |
| 5.1.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE TEJIDOS..... | 34 |
| 5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CEBOLLA..... | 49 |
| 5.2.1 ANÁLISIS DE SUELOS..... | 49 |
| 5.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES Y RENDIMIENTO..... | 49 |
| 5.2.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE TEJIDOS..... | 50 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 64 |
| 6.1 CONCLUSIONES AJO..... | 64 |
| 6.2 CONCLUSIONES CEBOLLA..... | 65 |
| 7. RECOMENDACIONES AJO Y CEBOLLA..... | 66 |
| 8. LITERATURA CONSULTADA..... | 67 |
| 9. ANEXOS..... | 71 |

RESUMEN

Se generaron las curvas de crecimiento y absorción de nutrimentos para el ajo (*Allium sativum* cv. Criollo) y para la cebolla (*Allium cepa* cv. Aquarius) en la provincia de San José. El propósito de la investigación fue evaluar el crecimiento durante las diferentes etapas del cultivo y asociarlas al consumo de nutrimentos y su partición dentro de los tejidos de la planta, con el fin de calibrar los programas de fertilización que permitan dar aplicaciones racionales y oportunas, en momentos de máxima absorción del cultivo.

El estudio se realizó en el distrito de Matinilla, perteneciente al cantón de Santa Ana. La finca donde se cultivó el ajo se ubica a una altura da 1290 msnm., mientras que la cebolla se produjo a los 1280 msnm. Ambos sitios son adyacentes entre sí y pertenecen al orden de los Inceptisoles, con alta fertilidad.

En los dos cultivos se efectuaron muestreos con una frecuencia de 15 días. En el caso del ajo fueron a partir de los 45 DDS, mientras que para la cebolla lo fue desde el transplante a los 0 DDT. Se muestrearon 5 repeticiones compuestas por 10 plantas cada una, las que posteriormente fueron separadas en parte aérea (hojas), bulbo y raíz. Las repeticiones por edad y tejido específico se mezclaron y se trabajó con muestras compuestas. Se les determinó el peso seco y el contenido N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B en el Laboratorio de Suelos y Foliarens del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

El cultivo de ajo Criollo para producir un rendimiento de 10.4 t.ha⁻¹ extrajo 83 kg de N, 9 kg de P, 65 kg de K, 36 kg de Ca, 6 kg de Mg, 20 kg de S, 513 g de Fe, 31 g de Cu, 81 g de Zn, 110 g de Mn y 100 g de B. El cultivo de cebolla cv Aquarius para una producción de 58.6 t.ha⁻¹ absorbió 149 kg de N, 24 kg de P, 212 kg de K, 93 kg de Ca, 18 kg de Mg, 32 kg de S, 722 g de Fe, 39 g de Cu, 200 g de Zn, 247 g de Mn y 227 g de B.

En el ajo Criollo los microelementos Fe, Cu y Mn presentaron el mayor incremento de absorción a los 45 DDS, el incremento más elevado de absorción del K fue a los 72 DDS, mientras que el N, P, Ca, Mg, S, Zn y B ocurrió a los 114 DDS. Por su parte, la cebolla cv. Aquarius experimentó la mayor absorción de Fe a los 60 DDT, seguidamente a los 90 DDT se registró los mayores incrementos de Ca y Mn. Los nutrimentos N, P, K, Mg, S, Zn, B y Cu, exhibieron los incrementos de mayor magnitud al final del cultivo (120 DDT).

LISTA DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Clasificación general de ecotipos o grupos ecofisiológicos según color y requerimientos del cultivo..... | 8 |
| Cuadro 2. Absorción total de N, P, K, Ca, Mg y S para producir una tonelada de ajo..... | 10 |
| Cuadro 3. Interpretación del contenido de N, P y K en la hoja madura más joven según fenología del ajo..... | 11 |
| Cuadro 4. Absorción total y por el bulbo de N, P, K, Ca, Mg y S, para producir una tonelada de cosecha, en las variedades de cebolla cultivadas en el Costa Rica.... | 18 |
| Cuadro 5. Absorción total y por el bulbo de Fe, Cu, Zn, Mn y B, para producir una tonelada de cosecha, en las variedades de cebolla cultivadas en el Costa Rica.... | 18 |
| Cuadro 6. Nivel crítico de nutrientes en hojas jóvenes de cebolla completamente expandidas, entre los 30 y 70 días después del transplante..... | 19 |
| Cuadro 7. Guía de análisis foliar de macro y micronutrientes de la hoja más joven completamente elongada, muestreada al inicio de la bulbificación. Guía para todas las <i>Alliums</i> de Estados Unidos de Norteamérica..... | 19 |
| Cuadro 8. Guía de análisis foliar y de bulbos, de macronutrientes de plantas de cebolla muestreadas desde el transplante hasta el final de la producción de peso seco..... | 19 |
| Cuadro 9. Guía de análisis foliar y de bulbos, de micronutrientes de plantas muestreadas desde el transplante hasta el final de la producción de peso seco..... | 20 |
| Cuadro 10. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Gladalan Brown..... | 20 |
| Cuadro 11. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Granex 33..... | 21 |
| Cuadro 12. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Regia..... | 21 |
| Cuadro 13. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Sonic..... | 22 |
| Cuadro 14. Absorción total de macronutrientes y momentos de máxima absorción de los cultivares de cebolla..... | 22 |
| Cuadro 15. Cantidad de fertilizante aplicado al suelo al cultivo de ajo Criollo en la finca de Juan Miguel Córdoba, en el ciclo productivo 2011-2012..... | 31 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 16. Cantidad de fertilizante aplicado al suelo en forma granulada y por goteo al cultivo de cebolla cultivar Aquarius en la finca de José Sandí Bustamante, en el ciclo productivo 2011-2012..... | 32 |
| Cuadro 17. Análisis de suelos químico del terreno destinado a la siembra de ajo Criollo en la finca de Juan Miguel Córdoba..... | 33 |
| Cuadro 18. Relación entre bases del análisis de suelos del terreno destinado a la siembra de cebolla en la finca de Juan Miguel Córdoba..... | 33 |
| Cuadro 19. Determinación del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación entre las 5 repeticiones de la evaluación final del bulbo de ajo Criollo..... | 34 |
| Cuadro 20. Comparación de los promedios de cada nutrimento procedente de las 5 repeticiones, con el resultado de la muestra compuesta de la evaluación final del bulbo de ajo Criollo..... | 34 |
| Cuadro 21. Rangos de concentraciones de los elementos en los diferentes tejidos del ajo Criollo..... | 36 |
| Cuadro 22. Cantidad en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P y K absorbidos por el ajo criollo para producir 1 t de bulbos..... | 40 |
| Cuadro 23. Cantidad en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca, Mg y S absorbidos por el ajo criollo para producir 1 t de plantas y la respectiva absorción por la cosecha..... | 43 |
| Cuadro 24. Absorción total y por la cosecha del cultivo de ajo Criollo, para producir una tonelada por de plantas y de bulbos..... | 46 |
| Cuadro 25. Comparación de la extracción de nutrimentos por el cultivo, aporte de fertilización y aporte de fertilización ajustado realizado al ajo Criollo..... | 47 |
| Cuadro 26. Tipo y cantidad de fertilizantes a aplicar en el cultivo de ajo Criollo y los respectivos aportes de nutrimentos..... | 47 |
| Cuadro 27. Programa de fertilización para el cultivo de ajo Criollo en Matinilla de Santa Ana..... | 48 |
| Cuadro 28. Análisis de suelos químico del terreno donde se realizó la siembra de la cebolla..... | 49 |
| Cuadro 29. Relación entre bases del análisis de suelos del terreno destinado a la siembra de cebolla en la finca de José Sandí Bustamante..... | 49 |
| Cuadro 30. Determinación del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación entre las 5 repeticiones de la evaluación final del bulbo de cebolla cultivar Aquarius..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 31. Comparación de los promedios de cada nutrimento procedente de las 5 repeticiones, con el resultado de la muestra compuesta de la evaluación final del bulbo de cebolla Aquarius..... | 50 |
| Cuadro 32. Rangos de concentraciones de los elementos en los diferentes tejidos de cebolla cultivar Aquarius..... | 52 |
| Cuadro 33. Cantidad en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P y K absorbidos por el cultivar de cebolla Aquarius para producir 1 t de bulbos..... | 56 |
| Cuadro 34. Cantidad en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca, Mg y S absorbidos por el cultivar de cebolla Aquarius, para producir 1 t de bulbos..... | 58 |
| Cuadro 35. Cantidad en $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Fe, Cu, Zn, Mn y B, absorbidos por el cultivar de cebolla Aquarius para producir 1 t de bulbos..... | 61 |
| Cuadro 36. Comparación de la extracción de nutrimentos realizado por la cebolla cv. Aquarius, el aporte de fertilización y el aporte de fertilización ajustado..... | 62 |
| Cuadro 37. Tipo y cantidad de fertilizantes a aplicar por hectárea en el cultivo de cebolla cv. Aquarius y los respectivos aportes de nutrimentos..... | 62 |
| Cuadro 38. Programa de fertilización para el cultivo de cebolla cv. Aquarius, en Matinilla de Santa Ana..... | 63 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Curva de crecimiento del ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 37 |
| Figura 2. Comparación de los ciclos de crecimiento del ajo Criollo (transformando el tiempo en %) y del de formación de los bulbos..... | 37 |
| Figura 3. Absorción de macronutrientes por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, San José, 2011-2012..... | 39 |
| Figura 4. Absorción relativa de macronutrientes por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 40 |
| Figura 5. Absorción de elementos secundarios por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 42 |
| Figura 6. Absorción relativa de elementos secundarios por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 43 |
| Figura 7. Absorción de micronutrientes por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana..... | 45 |
| Figura 8. Curva de crecimiento total de la cebolla cultivar Aquarius, Matinilla, Santa Ana..... | 53 |
| Figura 9. Comparación del ciclo de crecimiento del cultivar Aquarius (transformando el tiempo en %) y del ciclo de formación del bulbo..... | 53 |
| Figura 10. Absorción de macronutrientes por el cultivo de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 54 |
| Figura 11. Absorción relativa de N, P y K por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 55 |
| Figura 12. Absorción de elementos secundarios por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 57 |
| Figura 13. Absorción relativa de elementos secundarios por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 58 |
| Figura 14. Absorción de microelementos por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012..... | 60 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Peso fresco y peso seco de la muestras de ajo Criollo..... | 71 |
| Anexo 2. Peso fresco y peso seco de la muestras de cebolla cv. Aquarius..... | 72 |
| Anexo 3. Porcentaje de humedad de las plantas de ajo Criollo muestreadas..... | 73 |
| Anexo 4. Porcentaje de humedad de las plantas de cebolla cv. Aquarius muestreadas..... | 73 |
| Anexo 5. Clasificación de los nutrimentos de acuerdo a su movilidad dentro de la planta..... | 73 |
| Anexo 6. Concentración y absorción de elementos mayores y menores por hectárea, por la parte aérea, bulbo y raíces de ajo Criollo, durante todo el ciclo de cultivo, en Matinilla, Santa Ana 2011-2012..... | 74 |
| Anexo 7. Concentración y absorción de elementos mayores y menores por hectárea, por la parte aérea, bulbo y raíces de cebolla cv. Aquarius, durante todo el ciclo de cultivo, en Matinilla, Santa Ana 2011-2012..... | 75 |

1. INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa*) pertenece a la familia Alliaceae, misma del ajo (*Allium sativum*) y otras hortalizas como el cebollino y el puerro. Se considera como originaria de las regiones secas de Asia. Tanto a nivel mundial como nacional, es una de las hortalizas de mayor importancia (Saborío 2013).

Datos de la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura del 2002, citados por Serrano y Mora (2007), indican que en el mundo se cultivan 21.946.717 de hectáreas de cebolla, China aparece como el principal país productor con 770.620 hectáreas, mientras que en Costa Rica se cultivaron 1000 hectáreas aproximadamente para ese año. Saborío (2013) informa que en Costa Rica en los últimos años han disminuido las áreas destinadas al cultivo de cebolla, que oscilan entre 800 y 1000 hectáreas por año, las que generan un rendimiento promedio de 35 t.ha⁻¹, con una producción anual de aproximadamente 31.500 toneladas métricas. El consumo nacional de este bulbo ronda las 2200 toneladas por mes, mientras que el consumo *per-cápita* es de 7 kg por año.

La cebolla se consume principalmente en estado fresco, como condimento y en ensalada. Asimismo, en la producción agroindustrial, se utiliza cebolla deshidratada para ser usada como condimento en la elaboración de diferentes productos, además se usa como ingrediente en la elaboración de vegetales mixtos, encurtidos y en vinagre (Jaén y Azofeifa 2010).

La producción se concentra en tres áreas geográficas: la Zona Alta (Tierra Blanca, Llano Grande, Cot y Potrero Cerrado de Cartago), Zona Media (Santa Ana, San Antonio de Escazú, San Rafael, La Guácima de Alajuela y San Antonio de Belén), y la Zona Baja (Guayabo y La Fortuna de Bagaces); las que difieren notoriamente en sus condiciones agroecológicas particulares de cada sitio (Serrano y Mora 2007). Lo anterior influye en la duración del ciclo y la adaptabilidad de las variedades a sembrar.

Entre los años 2005 y 2006, se cuantificaron un total de 450 productores de cebolla en el país, donde los productores de Santa Ana, Belén y Escazú, representan el 8,21% (Serrano y Mora 2007). Hoy en día, para el manejo nutricional de este cultivo en la zona de Santa Ana se utilizan datos generados en otras localidades. En Costa Rica, la mayoría de los estudios de curvas de absorción de cebolla se han hecho en condiciones de altura, como los realizados en la Estación Experimental Carlos Durán, ubicada en Potrero Cerrado de Oreamuno, en la provincia de Cartago, recopilados y publicados por Bertsch (2003).

La información aportada por tales estudios ha sido muy valiosa para la elaboración de programas de fertilización y ajuste de dosis de nutrientes en el cultivo de la cebolla a nivel nacional, no obstante, las condiciones bajo las que se llevaron a cabo las investigaciones difieren considerablemente de las del cantón de Santa Ana, puesto que el rango de altura de la zona productora de Cartago es de 1800 a 2500 msnm., mientras que en Santa Ana esta misma variable oscila entre los 900 y 1300 msnm.

Otro factor directamente relacionado con el comportamiento de la cebolla es la temperatura. Serrano y Mora (2007), indican que la temperatura media para la zona de

Cartago es de 16°C, mientras que para Santa Ana el rango de temperaturas va de los 18°C a 24°C. Estas variables junto con la precipitación y el brillo solar, provocan que el ciclo del cultivo sea de menor duración en Santa Ana, comparadas con las localidades donde se generaron las curvas de absorción. Consecuentemente, la velocidad de absorción de nutrientes y requerimientos podrían variar también, situación que sugiere la necesidad de generar información local, bajo las condiciones típicas de una de las principales zonas productoras de cebolla a nivel nacional.

La introducción de nuevas variedades de cebolla, más productivas pero a la vez nutricionalmente más exigentes, reafirma la necesidad de efectuar estudios de absorción de nutrientes para estas variedades bajo las condiciones de Santa Ana. La variedad de cebolla Aquarius de la casa de semillas holandesa Enza Zaden, es uno de los híbridos que más recientemente se han introducido en nuestro país, con resultados muy promisorios. Esta variedad puede ser cultivada en un rango de latitud entre los 0° y 35°, abarcando zonas tropicales, semi-áridas y áridas. Su fotoperiodo corresponde a un híbrido de día corto, para condiciones secas y calientes. Se reporta una vida poscosecha o de almacenamiento de entre los 60 y 120 días después de cosechada. Aquarius es una cebolla de bulbo tipo grano/globo, de tamaños medianos a grandes (70-110 mm de diámetro). Lo anterior está influenciado también por los factores ambientales, fecha de siembra y ubicación.

Por otra parte, en relación al cultivo del ajo (*Allium sativum* L.), es una hortaliza que se ha utilizado como alimento y planta medicinal por diferentes culturas, teniendo una considerable demanda y producción (Zúñiga y Brenes 2013). Datos de la FAO, (citados por Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2006), indican que en el 2004 se cultivaron en el mundo un poco más de un millón de hectáreas de ajo, situándose la producción en dicho año en unas 14 000 toneladas métricas, de las cuales el 75,35% correspondió a China. La superficie mundial dedicada a la producción de ajo ha aumentado con el paso de los años, sobre todo en los países asiáticos que son grandes productores y consumidores tradicionales de hortalizas, mientras que en los países de América del Sur ha disminuido la producción de ajo.

A diferencia de la cebolla, existe poca información nacional del cultivo del ajo. La tendencia del mercado últimamente se ha enfocado en la importación de ajo, procedente de China, situación que ha desincentivado la producción nacional, no obstante García (1994), citado por Zúñiga y Brenes (2013), manifiesta que el consumidor costarricense tiene preferencia por el ajo producido en nuestro país, ya que considera que las características organolépticas de aroma y sabor son superiores a las del ajo importado.

Costa Rica no cuenta con una variedad pura de ajo, más bien lo que se siembra son materiales criollos, cuya semilla se ha cultivado y mantenido de generación en generación, dado que, como ocurre con el cultivo del frijol en algunas localidades, parte de la cosecha se vende y otra parte se utiliza como semilla, para próximas siembras. En el cultivo del ajo a diferencia de la cebolla, se utiliza semilla criolla vegetativa para su reproducción y no híbridos. Actualmente a nivel nacional, no se consiguen semillas certificadas de variedades de ajo y, la información de requerimientos nutricionales es escasa o nula, puesto que no se ha publicado un análisis de crecimiento para dicho cultivo. En este sentido, existe un vacío de conocimiento de las exigencias nutricionales en el cultivo del ajo, situación que indica también la necesidad de generar una curva de absorción de nutrimentos para este cultivo,

establecer programas de fertilización más ajustados a las necesidades reales, permitir un uso más racional de los recursos que faculte la posibilidad de incrementar los rendimientos. Actualmente, el cultivo del ajo en el cantón de Santa Ana, se está reactivando, debido a que se consiguen precios hasta tres veces mayores al producto proveniente de China (Álvarez 2011).

Los estudios de absorción, son todos aquellos estudios que tratan de contabilizar en alguna forma los requisitos, la extracción o el consumo de nutrientes que efectúa un cultivo para completar su ciclo de producción. Estos contribuyen en forma cuantitativa a dar solidez a los programas de fertilización a recomendar, pues permiten conocer la cantidad de nutrimento en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido. Los datos provenientes de estos estudios, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para producir un determinado rendimiento. Estos estudios pueden ser puntuales, como son los que se refieren a requisitos totales y de cosecha, o contemplar todo el ciclo de vida del cultivo, que constituirán las llamadas curvas de absorción. Este tipo de estudio de absorción es por supuesto el más completo y mediante el cual se puede efectuar un afinamiento más preciso del programa de fertilización (Bertsch 2003).

Dentro de las utilidades que brinda el uso de las curvas de absorción están: permite establecer las principales etapas fenológicas del cultivo y la partición de cada tejido en ellas, permite conocer la acumulación de nutrientes en el tiempo en los diferentes tejidos, permite establecer durante el ciclo, los momentos de máxima absorción que tiene el cultivo, se puede establecer el grado de reciclaje o retorno al sistema que tiene cada nutrimento, posibilitan establecer la presencia o no de translocación de nutrientes de algunos tejidos a otros durante el ciclo y por último, si la curva de aplicación se diseña en función de la de absorción, permite establecer un programa gradual a lo largo del ciclo que maximiza la eficiencia de la fertilización en el tiempo (Bertsch 2003).

Las curvas de absorción de nutrimentos, son afectadas por factores externos e internos. Dentro de los factores internos se pueden citar: el potencial genético de la planta, por esta razón es ideal la curva de extracción para cada cultivar. La edad de la planta, o estado de desarrollo de la misma. La curva necesariamente debe reflejar los cambios nutricionales dependientes de la fenología de la planta. Con esto se pueden asociar puntos de máxima absorción con puntos claves de desarrollo como prefloración, floración, fructificación etc. Por otra parte, los factores externos son aquellos relacionados con el ambiente donde se desarrolla la planta como el suelo, la temperatura, humedad, brillo solar, etc (Sancho 1999).

Considerando lo detallado anteriormente, se pretende realizar dos curvas de absorción de nutrimentos, una en cebolla (*Allium cepa* cv. Aquarius) y otra en ajo (*Allium sativum* cv. Criollo), en una misma zona de la provincia de San José.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Generar dos curvas de absorción de nutrimentos, una para la variedad Aquarius de cebolla y otra para el ajo Criollo, en el cantón de Santa Ana de la provincia de San José.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar la curva de crecimiento en el cultivo de cebolla Aquarius y ajo Criollo con base en los datos de peso fresco y seco.

- Determinar la concentración de los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B en cada muestreo para obtener las curvas de absorción.

- Recomendar un plan de fertilización apropiado para ambos cultivos.

- Comparar basándose en los $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de peso seco obtenido en cada muestreo y en la cantidad de nutrimentos absorbidos por la planta, el comportamiento de los cultivos en estudio, en cuanto a velocidad de crecimiento, absorción de nutrimentos y producción en una zona de características edáficas y ambientales similares.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 AJO

3.1.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL AJO

Diferentes culturas han utilizado el ajo como condimento así como planta medicinal, con gran demanda y producción. Habitualmente se consume seco y deshidratado, así mismo existen preparados de ajo en distintas presentaciones (en polvo, tabletas, agua, aceite y formulaciones a base de etanol) que son comercializadas como una importante fuente de compuestos organosulfurados, entre ellos la alicina, Zúñiga y Brenes (2013).

Estos autores señalan que el área destinada al cultivo del ajo en el mundo aumentó alrededor de 230,256 hectáreas en el período comprendido entre 1999 y 2008. Consecuentemente se ha dado un incremento en la producción de 6,696,758 toneladas, lo que se interpreta como aumento de los rendimientos de 9,8 t.ha⁻¹ a 13,4 t.ha⁻¹.

En Costa Rica, para 1974, Coto (1974) informa de una producción de ajo cercana a las 8 t.ha⁻¹. Para 1994, según García (1994) la producción fue de 5,5 t.ha⁻¹. Según datos del MAG, para el 2008, en la Región Central Oriental de Llano Grande (Cartago) se reconocieron un total de 12 agricultores que sembraron un total de 3,28 ha con una producción de 17 600 kg, lo que significa un rendimiento de 5,6 t.ha⁻¹, contrastando con países como Argentina, donde se producen hasta 14 t.ha⁻¹ y México con variedades que alcanzan a nivel comercial un rendimiento de hasta 20 t.ha⁻¹. En el 2010, agricultores de la zona de Cartago lograron rendimientos de alrededor de 15 t.ha⁻¹ Zúñiga y Brenes (2013).

3.1.2 GENERALIDADES DEL CULTIVO DEL AJO

3.1.2.1 ORIGEN

El ajo, fue domesticado por el hombre para ser usado primero como condimento y luego como planta medicinal (Izquierdo y Quiones 2001). Es una especie originaria de Asia Central, específicamente Afganistán, Turkmenistán y Uzbekistán, (Sarita 1995). Como lo indican Izquierdo y Quiones (2001), se ha encontrado silvestre en las montañas Altaicas de Siberia y en la parte sur del macizo de los Urales, cerca de donde se une el Volga con el Mar Caspio, de donde se expandió hacia Egipto y China.

Según Zúñiga y Brenes (2013), el ajo es un cultivo muy antiguo, con muchos años de producirse, pues hay evidencias que indican que romanos, hindúes y chinos lo consumían siglos atrás, por su parte los egipcios (3000 A.C.) lo consideraban una planta sagrada. Los mismos autores reportan que en Latinoamérica fue introducido por Colón hacia finales del siglo XIV, en el segundo viaje, y con subsecuentes reintroducciones provenientes de España, Islas Canarias e Italia. Indican además que la mayoría de las especies del género *Allium* que existen provienen de esa zona. El nombre científico del ajo es *Allium sativum*, proviene del latín y quiere decir cultivado. Es una especie que depende de las condiciones termofotoinductoras y se encuentra distribuida desde el nivel del mar

hasta los 3 700 msnm., lo que demuestra su amplia capacidad de adaptación (Izquierdo y Quiones 2001).

3.1.2.2 TAXONOMÍA Y BOTÁNICA

El ajo (*Allium sativum* L.), es una hortaliza monocotiledónea diploide, de la familia Alliaceae, perteneciente al orden Asparagales. Pertenece a la subfamilia Allioideae y a la tribu Alliaea, Zúñiga y Brenes (2013).

Novák et al. 1982, citado por Rosales y Molina (2007), menciona que las plantas de ajo son apomícticas obligadas, así mismo exhiben variación morfológica entre las distintas poblaciones.

Los mismos autores definen que *A. sativum* se clasifica a su vez en dos variedades; *ophioscorodon* y *sativum*. *A. sativum* var. *ophioscorodon* (cuello duro) se reconoce por la producción del escapo floral, que genera al final una umbella estéril, mientras que *A. sativum* var. *sativum* no produce escapo floral bajo condiciones normales. Este último es conocido como ajo de cuello suave (Al-Za him et al. 1997, citado por Rosales y Molina 2007). El ajo criollo al producir escapo floral, se ubica dentro del grupo de “cuello duro”.

En Costa Rica, la duración del ciclo de cultivo es aproximadamente de 4 meses, por lo que se pueden realizar dos siembras al año. El ajo es una planta anual de reproducción vegetativa, que senece una vez finalizado el ciclo, quedando con vida las yemas que se forman en los dientes, mediante las cuales realiza su reproducción. Cuenta con un sistema radicular adventicio, con raíces de color blanco que crecen del tallo verdadero, alcanzando una profundidad de 5-45 cm (Izquierdo 2006). Zúñiga y Brenes (2013) describen que el enraizamiento de la planta es superficial con una cobertura del 100% por encima de los 40 cm y un 80% por encima de los primeros 30cm del terreno del cultivo.

Los órganos de la planta de ajo se describen a continuación:

El tallo

El tallo es subterráneo en forma de disco y de unos pocos milímetros de longitud, localizado inmediatamente por debajo del bulbo o cabeza. Es la base donde se insertan las hojas, motivo por el que se menciona un falso tallo formado por hojas (Zúñiga y Brenes 2013). En algunos ecotipos este tallo se prolonga en forma de escapo y puede o no emerger de entre el falso tallo compuesto por la porción superior de las vainas de hojas con lámina. Dicho escapo puede rematar en inflorescencia en forma de umbela que tiene flores que por lo general son estériles, las que pueden ser reemplazadas por bulbillos aéreos, solo algunos ecotipos son capaces de generar semillas verdaderas (Burba 2003).

El fruto

El fruto es una cápsula (Zúñiga y Brenes 2013); este con tres cavidades, cada una constituida por dos semillas (si estas llegan a desarrollarse), las que no suelen utilizarse con fines de reproducción (Sarita 1995).

Las hojas

Las hojas están formadas por una vaina y un limbo aplanado, estrecho y fistuloso, con un nervio central bien desarrollado y en forma de punta al final. Las vainas son cilíndricas y vienen a constituir el falso tallo o pseudotallo corto y erecto, particular de la planta. Las hojas llegan a medir de 20 a 50 cm de longitud y entre 1 y 3 cm de ancho. En la base de las vainas no se llegan a acumular sustancias nutritivas. Al morir estas se convierten en túnicas protectoras del bulbo.

El bulbo

El bulbo del ajo está compuesto por varios bulbillos o dientes unidos en la base. Estos bulbillos se desarrollan en las axilas de las hojas 6 o 7 en adelante, por lo que se les denomina hojas fértiles, las que no los forman se llamas hojas estériles. Los dientes son recubiertos por las túnicas interiores y el bulbo completo por las exteriores que son las formadas en la parte inferior de las vainas (Sarita 1995). Este mismo autor manifiesta que “los dientes son hojas transformadas que sirven para almacenar las sustancias de reserva de la planta y rodeados cada uno por separado y en conjunto por una túnica membranosa de color blanco o rojizo”. La primera y segunda hojas fértiles forman los dientes más grandes, luego su peso promedio decrece de forma gradual.

La cantidad de dientes varía dependiendo de la variedad, encontrándose cabezas de ajo desde 5 hasta 30 dientes (García 1994).

3.1.2.3 VARIEDADES DE AJO

Actualmente existen diversas clasificaciones según color del bulbo, tamaño, forma, porte vegetativo, tipo de cuello ya sea suave o duro, número, forma así como color de dientes, duración de ciclo vegetativo, fotoperiodo, además de la duración de los requerimientos de dormancia de los dientes para germinar, nivel de pungencia, características organolépticas, nutracéuticas, industriales entre otras (Sarita 1995, Zúñiga y Brenes 2013).

De forma general, las variedades de ajo se agrupan en cuatro grandes ecotipos o grupos ecofisiológicos, en el siguiente cuadro se presenta la clasificación de las diversas variedades de ajo cultivadas, propuesto por Zúñiga y Brenes (2013).

Cuadro 1. Clasificación general de ecotipos o grupos ecofisiológicos según color y requerimientos del cultivo (Brenes et al. 2013).

| Grupo | Color | Ciclo | Dormancia | Requerimiento de frío | Fotoperiodo |
|-------|----------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------|--------------------------------|
| 1 | Violétas (asiáticos) | Incluye variedades de ciclo corto | Corta | Bajo | No requieren fotoperiodo largo |
| 2 | Rosados | Medio | Corta | De mediano a bajo | Largo moderado |
| 3 | Blancos | Medio largo | Media | De mediano a alto | Largo |
| 4 | Colorados, rojos y morados | Largo | Larga | Alto | Largo |

En el caso del grupo 1, son variedades típicas de regiones tropicales o subtropicales. Como lo exponen los autores anteriormente citados, “en Costa Rica existe solo un material vegetal denominado ajo criollo, es la única variedad que se siembra; podría clasificarse dentro del grupo 1, porque es de ciclo corto”, aparte de contar con bajos requerimientos de frío y no necesitar un fotoperiodo largo.

3.1.3 NECESIDADES AMBIENTALES DEL AJO

3.1.3.1 ALTITUD

Dependiendo de la variedad, el ajo se puede encontrar a baja altitud en tierras próximas a la costa hasta 3700 msnm (Zúñiga y Brenes 2013). En Costa Rica los dos principales zonas productivas se localizan entre los 1300 y 2000 msnm., refiriéndose a Santa Ana en San José y las localidades de Llano Grande y Tierra Blanca de la provincia de Cartago.

3.1.3.2 TEMPERATURA

Sarita (1995) indica que la formación de bulbillos o dientes de ajo, está determinada por la temperatura a que están expuestos los dientes o la planta previa al proceso de formación de bulbos. Considerando lo anterior, dientes de ajo o plantas en etapas iniciales que se exponen a temperaturas entre 0 y 10°C, por un periodo de 1 o 2 meses, la bulbificación se acelera y se estimula una adecuada formación. Esto ocurre en el caso específico de someter los dientes de ajo a la variación térmica señalada al menos por un periodo de un mes previo a la siembra. En el otro extremo, la exposición muy prolongada a las bajas temperaturas, ocasiona la proliferación de dientes superfluos indeseables. Sin embargo, actualmente existen cultivares que se desarrollan adecuadamente, con altas producciones en regímenes térmicos entre 18 y 25°C.

Por otra parte, Saluzzo et al. (2010), expresa que el rango de crecimiento efectivo del ajo es entre 7 y 30°C y el de crecimiento óptimo entre 20 y 25°C.

3.1.3.3 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

El cultivo de ajo se desarrolla mejor en suelos con alto contenido de humedad pero nunca saturados. Núñez y San Román (2008), sugieren que el agua total utilizada puede llegar a los 385 mm de lámina de agua, lo que equivale a un consumo de aproximadamente 3810 m³ de agua.ha⁻¹.

3.1.3.4 LUMINOSIDAD

El ajo al ser fotoperiódico, responde a la duración del día ya que regula el crecimiento del bulbo y junto con la temperatura, son aditivos sobre el crecimiento del mismo (Saluzzo et al. 2010). Los días largos favorecen la bulbificación. La acumulación de sustancias de reserva, la formación y maduración del bulbo son estimuladas por temperaturas relativamente altas y días largos (Sarita 1995).

3.1.4 NECESIDADES EDÁFICAS DEL AJO

3.1.4.1 GENERALIDADES

El cultivo del ajo se desarrolla adecuadamente en un suelo fértil y profundo, con un pH entre 6 y 8, desde un terreno franco arenoso bien drenado, hasta uno franco arcilloso. Los suelos con arcillas pesadas se deben de evitar, debido a que los bulbos pueden sufrir deformaciones, además de dificultarse su recolección. El ajo es un cultivo de alto consumo de nutrientes, por lo que un análisis de suelos se debe de realizar previo a la plantación para así, determinar el nivel de fertilidad del mismo (Dickerson 2011).

3.1.4.2 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Similar a lo que ocurre en otros cultivos, la absorción de nutrimentos por la planta de ajo es constante pero no uniforme durante la duración del ciclo, pues varía con la etapa de desarrollo del cultivo. En las etapas iniciales del cultivo, el diente de ajo que fue usado como semilla es el órgano que aporta las reservas para la planta, por lo que la absorción de nutrientes es reducida (Castellanos et al 2000, citado por Reveles et al. 2009).

Según Sarita (1995), los requerimientos nutricionales para el ajo son 180 kg ha⁻¹ de N, 110 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 130 kg.ha⁻¹ de K₂O, 40 kg.ha⁻¹ de MgO y 25 kg.ha⁻¹ de S. El cultivo de ajo en Los Andes tropicales, demanda hasta 90 kg ha⁻¹ de N, 70–190 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y de 30-95 kg ha⁻¹ de K₂O (Núñez y San Román 2008).

Requerimientos nutricionales para producir una tonelada de ajo.

A nivel nacional, no hay registro de estudios previos de absorción de nutrientes por el cultivo de ajo. La información disponible la suministró Bertsch (2003), donde hace referencia a dos fuentes de datos de extracción total de cultivo para producir una tonelada de cosecha. Fuera de nuestras fronteras; Ruíz (1985), Burba (1992); García (1998) y La

Umbria (2001) citados por Reveles et al. 2009, Castellanos et al. 2001 y 2002, y Yara (2012) aportan otros datos de absorción de nutrimentos en el ajo.

Como se aprecia en el Cuadro 2, de absorción de algunos nutrimentos esenciales; para producir una tonelada de plantas de ajo, el N y K son los macronutrientes más extraídos, mientras que el Ca y S presentan la mayor extracción de elementos secundarios.

Cuadro 2. Absorción total de N, P, K, Ca, Mg y S para producir una tonelada de ajo.

| Referencia | Absorción total (kg.t ⁻¹) | | | | | |
|---|--|----------|----------|---------|---------|---------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S |
| Ruíz 1985 | 11,3-15,7 | 1,7-2,3 | | | | |
| Burba (1992), citado por Reveles et al. (2009) | 10,0-25,0 | 1,5-5,0 | 7,0-17,0 | 1,5-3,0 | 0,5-1,5 | 2,0-6,0 |
| Domínguez (1993), citado por Bertsch 2003 | 8,0 | 1,7 | 6,7 | | | |
| Domínguez (1993), citado por Bertsch 2003 | 13,0 | 2,6 | 12,5 | | | |
| García 1998, citado por Reveles et al. (2009) | 11,1-18,2 | 4,3-17,3 | 8,0-41,5 | 6,6 | | 1,5 |
| Umbria (2001), citado por Reveles et al. (2009) | 10,0-11,0 | 3,0-4,5 | 8,0-10,0 | 2,5-3,5 | 0,1-0,5 | 1,0-5,0 |
| Castellanos et al. (2001) | | 1,4-1,6 | | | | |
| Castellanos et al. (2002) | | | 5 | | | |
| Yara, 2012 | 2,3 | 0,61 | 2,1 | | | |

3.1.4.3 RESPUESTA DEL AJO A LA FERTILIZACIÓN

En Costa Rica no se han efectuado estudios de respuesta del ajo a la fertilización, ni análisis de absorción de nutrimentos, la información es inexistente. Por lo expuesto anteriormente, tampoco hay síntesis de dosis recomendadas para condiciones nacionales.

Los trabajos en este tema, efectuados en otras latitudes difieren considerablemente entre sí, pues es información que depende directamente del fotoperíodo, tipo de suelo, contenidos de nutrimentos, así como del pH y textura del mismo.

3.1.5 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

3.1.5.1 ANÁLISIS DE SUELOS

La estimación de la disponibilidad de nutrimentos a una planta, en un momento definido de su ciclo de desarrollo mediante métodos químicos, es en lo que consiste el análisis químico de suelos. Mediante soluciones extractoras específicas se extraen los elementos y se asume que tales concentraciones, son las disponibles para la planta (Bertsch 1998).

3.1.5.2 ANÁLISIS FOLIAR

Es una técnica de diagnóstico que permite utilizar la concentración mineral de las plantas como indicador de su situación nutrimental, asociada al logro de altos rendimientos y mejores características de calidad del producto cosechado, en relación con el grado de abastecimiento y disponibilidad nutrimental, generalmente del suelo. El análisis de suelos

generalmente precede al análisis foliar en las recomendaciones de fertilización. Sin embargo, el análisis foliar en combinación con el análisis de suelos es un camino excelente para desarrollar un sólido programa de fertilización para la producción agrícola (Alcántar et al. 2007).

Tyler et al. (1998), establecieron la interpretación de tres rangos del contenido de N, P y K en la hoja más joven de plantas de ajo en tres etapas fenológicas distintas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Interpretación del contenido de N, P y K en la hoja madura más joven según fenología del ajo (modificado de Tyler et al. 1998).

| Estado fenológico | Nutrimento | Deficiente | Intermedio | Suficiente |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Crecimiento vegetativo | N total (%) | 4 | 4-5 | 5 |
| | P-PO4 (ppm) | 2000 | 2000-3000 | 3000 |
| | K soluble (%) | 3 | 3-4 | 4 |
| Formación del bulbo | N total (%) | 3 | 3-4 | 4 |
| | P-PO4 (ppm) | 2000 | 2000-3000 | 3000 |
| | K soluble (%) | 2 | 2-3 | 3 |
| Maduración del bulbo | N total (%) | 2 | 2-3 | 3 |
| | P-PO4 (ppm) | 2000 | 2000-3000 | 3000 |
| | K soluble (%) | 1 | 1-2 | 2 |

La determinación de los contenidos de nitratos en el jugo foliar o savia de plantas de ajo, esto en el momento de máxima bulbificación, es considerado como un método adecuado para determinar la nutrición de las plantas y permite influir oportunamente en el manejo de la fertirrigación (Gaviola y Lipinski (2002), citados por Reveles et al. (2009).

3.1.5.3 ESTUDIO DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES

Las curvas de absorción son la determinación más integral, que permite afinar los programas de fertilización. En comparación con el simple estudio de absorción total, las curvas de absorción son procedimientos considerablemente más caros, sin embargo la información que aporta es de mucha importancia para el mejoramiento de programas de fertilización (Bertsch 2003).

Factores internos como el potencial genético o la edad de la planta, así como factores externos relacionados con el ambiente donde se desarrolla el cultivo como altitud, temperatura, humedad, tipo de suelo, entre otros influyen en la extracción de nutrimentos. Considerando lo anterior, se deduce que hay especificidad de cada curva para determinada variedad de cultivo y condiciones en las que se desarrolle (Sancho 1999).

A continuación se menciona el procedimiento general para elaborar las curvas de absorción propuesto por Bertsch (2003).

- 1- Seleccionar una sola variedad del cultivo, no se pueden mezclar datos de diferentes materiales en una misma curva de absorción.
- 2- Escoger plantas que presenten excelentes condiciones y rendimientos potenciales altos. Por lo tanto se deben elegir plantas sanas y que no estén ubicadas en áreas marginales del terreno.
- 3- Mientras que las condiciones de suelo, manejo, sanidad y rendimiento sean semejantes, se pueden escoger plantas provenientes de diferentes lotes.
- 4- Establecer las etapas fenológicas más importantes del ciclo de cultivo, esto por encima de la edad cronológica de la plantación.
- 5- Separar la planta en los tejidos de importancia, como por ejemplo: hojas, bulbo, raíces, frutos, raquis, etc.
- 6- Muestrear al menos tres repeticiones por etapa fenológica y tejido. Posteriormente medir el peso fresco, peso seco y la concentración de nutrientes en los tejidos de interés.
- 7- Estimar el peso seco acumulado ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) por cada etapa fenológica. Nuevamente se deben de usar al menos 3 repeticiones. Si los cálculos se hacen por planta, se debe multiplicar cada repetición por el número de plantas por hectárea existentes y luego obtener un promedio. En el caso de que las estimaciones sean por área, hay que transformar ese valor a $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ con base en el área utilizable por el cultivo, dejando por fuera caminos, entrecalles, pasillos, canales, etc.
- 8- Graficar la curva de crecimiento en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ubicando el tiempo en el eje x y los $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de peso seco en el eje y para los tejidos estudiados y el total.
- 9- Calcular la cantidad de nutrientes absorbida de la siguiente manera: las muestras de peso seco se pueden evaluar por separado o unirlas en una sola para cada uno de los tejidos. El coeficiente de variación (CV) entre repeticiones de concentración ha brindado valores inferiores a 15%. Efectuar los análisis para cada repetición y tejido aumenta drásticamente el costo de la confección de la curva.

Si las concentraciones están expresadas en porcentaje (%), el cálculo se hace con la siguiente fórmula:

$$\text{kg de nutriente por tejido}\cdot\text{ha}^{-1} = (\text{PS tejido (kg}\cdot\text{ha}^{-1}) \times (\text{NUT \%}))/100$$

Si las concentraciones se expresan en partes por millón (ppm), la fórmula que se utiliza es:

$$\text{g de nutriente por tejido}\cdot\text{ha}^{-1} = (\text{PS tejido (kg}\cdot\text{ha}^{-1}) \times (\text{NUT mg}\cdot\text{kg}^{-1}))/1000$$

Son varias las utilidades que se le pueden dar a las curvas de absorción. Seguidamente se citan algunas de ellas indicadas por Bertsch (2003).

- 1- Previamente a la confección de la curva de absorción, se debe generar la curva de crecimiento del cultivo en términos de peso seco. Esta curva permite definir las principales etapas fenológicas del cultivo y la participación de cada tejido.
- 2- Permite conocer la acumulación de nutrientes en el tiempo en los tejidos estudiados.

- 3- Faculta establecer los momentos de máxima absorción del cultivo durante el ciclo.
- 4- Se puede estimar el grado de reciclaje o retorno al sistema que tiene cada nutriente.
- 5- Permite definir la presencia o ausencia de translocación de nutrientes entre tejidos durante el ciclo de cultivo.
- 6- Si se relacionan las curvas de aplicación de fertilizantes con las de absorción, se puede establecer un programa gradual a través del ciclo que permita maximizar la eficiencia de la fertilización en el tiempo.

3.2 CEBOLLA

3.2.1 IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA

Dentro de las hortalizas cultivadas en nuestro país y el mundo entero, la cebolla ocupa un lugar de suma importancia. A nivel global las áreas destinadas a la producción son de aproximadamente dos millones de hectáreas por año, generando una producción cercana a los 28 millones de toneladas métricas (Saborío 2013).

3.2.2 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE LA CEBOLLA

3.2.2.1 ORIGEN

El origen de la cebolla corresponde a regiones secas de Asia como Irán y el Oeste de Pakistán. Algunos botánicos indican que esta especie no se encuentra en estado silvestre. Su distribución y desarrollo sucedió desde Asia Occidental y países del Mediterráneo hasta América, donde fue introducida por viajeros conquistadores a partir del año 1492 (Medina 2008). La cebolla se ha utilizado hace muchos años. Esta ha sido identificada en jeroglíficos egipcios en tumbas desde el año 2500 A.C. (Delahaut y Newenhouse 2003).

3.2.2.2 TAXONOMÍA Y BOTÁNICA

Saborío (2013), informa que la cebolla que se cultiva (*Allium cepa*: Alliaceae) evolucionó de sus ancestros silvestres de las regiones montañosas del Asia Central. El autor menciona que las especies pertenecientes a dicha familia son plantas adaptadas a zonas abiertas y desérticas. El género *Allium* posee alrededor de 500 especies relacionadas, entre las cuales, la cebolla, el ajo y el puerro son de importancia económica.

La evolución del cultivo se puede clasificar en cinco etapas bien definidas; germinación de la semilla, crecimiento del follaje o parte aérea, inicio de formación del bulbo o bulbificación, crecimiento del bulbo y por último la maduración de este.

Los órganos de la planta de cebolla se describen a continuación:

La raíz

El sistema radical de la cebolla es escaso, está conformado por entre 20 a 200 raíces, con un promedio de 80 raíces, las que se desarrollan en los primeros 35 a 60 centímetros del suelo (Medina 2008). Saborío (2013), por su parte menciona, que el 95% del sistema radical de la planta de cebolla se encuentra entre los primeros 20 a 30 cm del suelo y que su patrón de desarrollo está influenciado por el grado de compactación, distribución de agua y nutrientes en el suelo.

El comportamiento de la evolución del sistema radicular, presenta una tasa de crecimiento muy activa a través de la fase de crecimiento vegetativa y alcanza su máximo desarrollo durante la madurez. Posteriormente desciende conforme avanza la etapa de bulbificación, ya que las raíces mueren en la etapa de formación de bulbos (Guenkov 1969,

Pierce 1987, Montes y Holle 1990, Sarita 1991, Manso et al. 1992, citados por Medina 2008).

El tallo

El tallo de la cebolla es una estructura en forma de disco (caulinar) (Araya 2012). Está localizado en la base del bulbo; dicho órgano es relativamente pequeño, ya que su altura es de aproximadamente 0,5 cm, con un diámetro cuyo rango oscila entre los 1,5-2,0 cm. En la parte basal del tallo emergen las raíces, mientras que en la parte superior, primero se producen las hojas. Si se trata de bulbos vernalizados, el tallo contiene las yemas reproductivas, a partir de donde emerge la inflorescencia.

Las hojas

Las hojas de la cebolla están constituidas por una parte basal. Son cilíndricas, huecas, algunas veces cerosas y están formadas por vainas que se anteponen unas con otras. Las hojas constan de dos partes: el limbo y la vaina. El conjunto de hojas forman el falso tallo en su parte superior y en la parte inferior al bulbo. Generalmente, desarrollan una hoja en lapsos de 1 a 9 días (Medina, 2008).

La planta tiene una limitada capacidad de producción de hojas. Bajo condiciones de cultivo tropical se puede llegar a obtener entre 10 y 18 hojas completamente desarrolladas. Por otra parte, una planta adulta puede exhibir de 8 a 13 hojas, situación que depende de factores ambientales que influyan sobre la precocidad y el desarrollo foliar, además de contabilizar las primeras hojas emergidas que por lo general mueren.

El follaje de la cebolla crece hasta que las condiciones externas favorezcan la formación y desarrollo del bulbo (Guenkov 1969 y Acosta et al. 1993, citados por Medina (2008). Las hojas nacen siempre en el centro de la planta, con una disposición alterna. Las hojas más viejas se encuentran en la parte exterior y las más jóvenes en el centro (Araya 2012).

El bulbo

Cuando están dadas las condiciones óptimas de fotoperiodo y temperatura, se inicia la formación y desarrollo del bulbo. Este período conlleva el engrosamiento de las vainas de las hojas y el almacenamiento en ellas de las sustancias nutritivas de reserva a medida que continúa el desarrollo del bulbo (Medina 2008). El bulbo es una estructura de almacenamiento formado por el engrosamiento de las vainas de las hojas y por la formación de hojas nuevas que no logran emerger, envolviendo la yema o meristemo apical que permanece dentro del bulbo (Saborío 2013).

Conforme avanza el desarrollo del bulbo, las escamas exteriores se secan y se convierten en túnicas (totalmente secas) y escamas transitorias (parcialmente secas). Cuando se inicia la formación del bulbo, inmediatamente cesa la producción de hojas y el crecimiento general (Medina 2008).

La inflorescencia, fruto y semilla de la cebolla

La cebolla es una planta bianual y la diferenciación a la fase reproductiva responde a la vernalización. La inflorescencia es una umbela simple, la que puede contener de 200 a 1000 flores perfectas, las que son de color blanco pardas y constan de una corola formada por seis pétalos, un cáliz con seis sépalos, un androceo con seis estambres, con ovario súpero y trilocular formado por dos óvulos en lóbulo. La polinización es cruzada y es realizada por abejas. El fruto es una cápsula con tres carpelos que puede contener hasta 6 semillas. Por su parte, la semilla es pequeña, rugosa y de color natural negro (Medina 2008 y Saborío 2013).

3.2.3 NECESIDADES AMBIENTALES DE LA CEBOLLA

3.2.3.1 ALTITUD

Debido a que la altitud está estrechamente relacionada con la temperatura, conforme aumenta la primera, disminuye la temperatura, extendiendo el desarrollo del bulbo. En Costa Rica, las zonas productoras de cebolla están ubicadas desde los 550 msnm hasta aproximadamente los 2300 msnm (Serrano y Mora 2007).

3.2.3.2 LATITUD

Esta variable está vinculada con varios eventos de suma relevancia con la formación y maduración del órgano de almacenamiento, el bulbo. Medina (2008), indica que los cultivares de días cortos se adaptan mejor a una latitud inferior a los 35°, los cultivares intermedios tienen buen comportamiento entre los 35° a 38° y los cultivares de días largos a una latitud superior a los 38°.

3.2.3.3 TEMPERATURA

La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de cebolla es alrededor de los 14°C, con temperaturas máximas de 30°C y mínimas de 7°C. Araya (2012) reafirma que las temperaturas altas aceleran la formación del bulbo y las bajas lo retardan. Los cultivares adaptados a determinada región, pueden presentar diferente comportamiento a través de los años. La temperatura es un factor climático de influencia directa en la formación del bulbo, es decir, si un cultivar recibe un mínimo de horas luz de su valor crítico, pero con temperatura óptima, formará bulbos (Guenkov 1969, Montes y Holle 1990, Sarita 1991, Acosta et al. 1993, citados por Medina 2008).

3.2.3.4 HUMEDAD DEL SUELO

La cantidad idónea de agua requerida por el cultivo de la cebolla, va a depender de factores como el tipo de suelo, la época del año y el cultivar. Tomando como referencia el rango de aptitud para la cebolla, expuesto por Serrano y Mora (2007), una precipitación anual de 1400 mm es apta, mientras que 1000 mm o menos no es apropiada.

3.2.3.5 LUMINOSIDAD

El inicio de la formación del bulbo está influenciado por el fotoperiodo, que es la cantidad de horas luz que recibe; aunque otros factores como la nutrición, las temperaturas y posibles daños al follaje pueden afectar el efecto del fotoperiodo (Araya 2012). Saborío (2013), señala que la respuesta al fotoperiodo es la que define el proceso de bulbificación.

Por su parte, Araya (2012) define claramente los grupos de clasificación de la cebolla, según el fotoperiodo:

Día largo: más de 15 horas de luz.

Día intermedio: entre 13 y 14 horas de luz.

Día corto: menor a 12 horas de luz.

Costa Rica presenta una condición tropical, ya que las horas de luz y oscuridad varían levemente a lo largo del año, en promedio son 12 horas, por lo tanto se recomienda sembrar cultivares de fotoperiodo corto (Bolaños 1991), como es el caso del cv. Aquarius. Saborío (2013), expresa que la reacción al fotoperiodo es un carácter de respuesta cuantitativa e interactúa principalmente con la temperatura, debido a que requieren cierta cantidad de horas luz para inducir la bulbificación.

3.2.4 NECESIDADES EDÁFICAS DE LA CEBOLLA

3.2.4.1 GENERALIDADES

El cultivo de cebolla se puede producir en suelos con el pH ligeramente ácido; entre 6,0 y 6,5. Suelos con niveles menores de un 32% de arcillas son ideales, mientras que los que contengan más de dicho porcentaje de arcillas dificultan la formación del bulbo. Valores de salinidad iguales o superiores a $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$, son inadecuados para el cultivo de cebolla (Medina 2008, Araya 2012).

3.2.4.2 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Bertsch (2003), reunió información de curvas de absorción de nutrimentos de cuatro variedades de cebolla cultivadas en Costa Rica. En todos los casos el N y K fueron los nutrimentos más absorbidos. En el caso de los elementos secundarios el Ca fue el elemento más extraído, tanto por el cultivo como por la cosecha. Consistentemente, el Fe fue el microelemento más requerido por la cebolla, mientras que el Cu siempre fue el menos absorbido, lo anterior tanto a nivel de extracción total como por la cosecha.

Cuadro 4. Absorción total y por el bulbo de N, P, K, Ca, Mg y S, para producir una tonelada de cosecha, en las variedades de cebolla cultivadas en el Costa Rica (Bertsch 2003).

| Variedad | Absorción total (kg.t ⁻¹) | | | | | | Absorción cosecha (kg.t ⁻¹) | | | | | |
|----------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | N | P | K | Ca | Mg | S |
| Gladalan Brown | 3,4 | 0,2 | 2,4 | 0,8 | 0,3 | 0,4 | 1,9 | 0,1 | 1,5 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| Granex 33 | 3,1 | 0,2 | 3,0 | 0,9 | 0,4 | 0,3 | 1,8 | 0,1 | 1,6 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| Regia | 3,1 | 0,3 | 3,8 | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 1,7 | 0,2 | 2,2 | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| Sonic | 4,9 | 0,5 | 4,7 | 1,3 | 0,6 | 0,4 | 2,4 | 0,3 | 2,5 | 0,7 | 0,3 | 0,2 |

Cuadro 5. Absorción total y por el bulbo de Fe, Cu, Zn, Mn y B, para producir una tonelada de cosecha, en las variedades de cebolla cultivadas en el Costa Rica (Bertsch 2003).

| Variedad | Absorción total (g.t ⁻¹) | | | | | Absorción cosecha (g.t ⁻¹) | | | | |
|----------------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|
| | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Gladalan Brown | 79,9 | 1,2 | 1,5 | 3,9 | 5,9 | 51,1 | 0,7 | 0,9 | 1,8 | 4,3 |
| Granex 33 | 85,7 | 1,3 | 2,8 | 4,6 | 5,2 | 62,8 | 0,7 | 0,7 | 1,8 | 3,4 |
| Regia | 53,9 | 1,5 | 4,7 | 5,6 | 4,4 | 31,7 | 0,9 | 4,0 | 2,5 | 3,0 |
| Sonic | 40,4 | 2,0 | 3,8 | 5,6 | 6,9 | 16,7 | 1,0 | 2,8 | 2,3 | 4,3 |

3.2.4.3 RESPUESTA DE LA CEBOLLA A LA FERTILIZACIÓN

En Costa Rica son escasos los estudios hechos en relación a la respuesta a la fertilización en el cultivo de cebolla. Soto (1987) recomienda 100 kg de N.ha⁻¹, 100 kg de P₂O₅.ha⁻¹, 100 kg de K₂O.ha⁻¹ y 50 kg de S.ha⁻¹. Este autor concluye que el cultivo de la cebolla en la zona norte de Cartago podrá responder con mayor probabilidad a la adición de P, K y S si dichos elementos se encuentran en el suelo en concentraciones menores de 15 mg.l⁻¹, 0,4 cmol(+).l⁻¹ y 7 mg.l⁻¹ respectivamente, al igual que a dosis de 50 kg de N.ha⁻¹.

3.2.5 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

3.2.5.1 ANÁLISIS FOLIAR

Existen diversas fuentes de datos para interpretar el estado nutricional de la cebolla, ya sea en un momento específico de su fenología o durante todo su ciclo. A continuación se presentan tres referencias generadas en diferentes localidades del orbe, citadas por Yara (2012).

Cuadro 6. Nivel crítico de nutrientes en hojas jóvenes de cebolla completamente expandidas, entre los 30 y 70 días después del transplante. Vidigal et al. 2002, citado por Yara (2012).

| Nutriente | Rango adecuado |
|---------------------------|----------------|
| N (%) | 1,9-4,0 |
| P (%) | 0,25-0,40 |
| K (%) | 2-5 |
| Ca (%) | 0,9-3,5 |
| Mg (%) | 0,18-0,50 |
| S (%) | 0,5-1,0 |
| Fe (mg.kg ⁻¹) | 60-300 |
| Cu (mg.kg ⁻¹) | 6,2-10,3 |
| Zn (mg.kg ⁻¹) | 10-55 |
| Mn (mg.kg ⁻¹) | 50-300 |

Cuadro 7. Guía de análisis foliar de macro y micronutrientes de la hoja más joven completamente elongada, muestreada al inicio de la bulbificación. Guía para todas las *Alliums* de Estados Unidos de Norteamérica. Maynard et al. 1998, citado por Yara (2012).

| Nutriente (base en peso seco) | Nivel | | |
|----------------------------------|------------|-----------|-------------------|
| | Deficiente | Adecuado | Alto |
| N (%) | <2,0 | 2,0-3,0 | >3,0 |
| P (%) | <0,2 | 0,2-0,5 | >0,5 |
| K (%) | <1,5 | 1,5-3,0 | >3,0 |
| Ca (%) | <0,6 | 0,6-0,8 | >0,8 |
| Mg (%) | <0,15 | 0,15-0,30 | >0,3 |
| S (%) | <0,2 | 0,2-0,6 | >0,6 |
| Fe (mg.kg ⁻¹) | <50 | 50-100 | >100 |
| Cu (mg.kg ⁻¹) | <5 | 5-10 | >10 |
| Zn (mg.kg ⁻¹) | <15 | 15-20 | >20 |
| Mn (mg.kg ⁻¹) | <10 | 10-20 | >20 |
| B (mg.kg ⁻¹) | <10 | 10-25 | >25 (tóxico >100) |

Cuadro 8. Guía de análisis foliar y de bulbos, de macronutrientes de plantas de cebolla muestreadas desde el transplante hasta el final de la producción de peso seco. Comrie 1993, citado por Yara (2012).

| Tejido | Nivel | Concentración (%) | | | | |
|--------|----------|-------------------|------|-----|------|------|
| | | N | P | K | Ca | Mg |
| Hojas | Máximo | 4,3 | 0,73 | 6,7 | 2,60 | 0,81 |
| | Mínimo | 1,2 | 0,13 | 1,9 | 0,50 | 0,24 |
| | Promedio | 2,4 | 0,35 | 3,6 | 1,20 | 0,43 |
| Bulbos | Máximo | 4,3 | 0,83 | 6,1 | 1,10 | 0,49 |
| | Mínimo | 0,9 | 0,22 | 1,1 | 0,26 | 0,13 |
| | Promedio | 1,6 | 0,38 | 2,3 | 0,52 | 0,23 |

Cuadro 9. Guía de análisis foliar y de bulbos, de micronutrientes de plantas muestreadas desde el trasplante hasta el final de la producción de peso seco. Comrie 1993, citado por Yara (2012).

| Tejido | Nivel | Concentración (mg.Γ ¹) | | | | |
|--------|----------|------------------------------------|----|----|-----|-----|
| | | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Hojas | Máximo | 707 | 12 | 48 | 191 | 808 |
| | Mínimo | 57 | 4 | 10 | 52 | 13 |
| | Promedio | 190 | 11 | 24 | 97 | 166 |
| Bulbos | Máximo | 601 | 17 | 67 | 84 | 453 |
| | Mínimo | 40 | 3 | 12 | 14 | 12 |
| | Promedio | 167 | 6 | 30 | 37 | 129 |

3.2.5.2 CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES PARA DIFERENTES VARIEDADES DE CEBOLLA EN COSTA RICA

En Costa Rica se han generado varias curvas de absorción de nutrimentos en el cultivo de cebolla, específicamente en la Estación Experimental Carlos Durán en Potrero Cerrado del cantón de Oreamuno, de la provincia de Cartago. Estos datos fueron recopilados y publicados por Bertsch (2003). Seguidamente se exponen las concentraciones de elementos por tejido de la planta, encontradas en los cuatro cultivares de cebolla estudiados.

Como regla general, el N y K son los macronutrientes de mayor concentración en los diferentes tejidos de las plantas. El Ca es el elemento secundario más concentrado en los tejidos, mientras que el Fe cuenta con la característica de ser el micronutriente con la mayor concentración dentro de los diferentes tejidos.

Cuadro 10. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Gladalan Brown (Bertsch 2003).

| Unidad | Elemento | Bulbo | Parte aérea | Raíz |
|---------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| % | N | 1,08-2,34 | 2,23-3,99 | 1,89-2,69 |
| | P | 0,07-0,13 | 0,07-0,14 | 0,07-0,14 |
| | K | 0,81-1,95 | 1,37-2,41 | 2,40-4,38 |
| | Ca | 0,17-0,51 | 0,35-0,82 | 0,22-0,35 |
| | Mg | 0,08-0,21 | 0,21-0,29 | 0,11-0,25 |
| | S | 0,11-0,14 | 0,17-0,18 | 0,21-0,24 |
| mg.kg ⁻¹ | Fe | 92-387 | 45-519 | 299-600 |
| | Cu | 4-11 | 6-7 | 16-47 |
| | Zn | 2-19 | 3-17 | 14-23 |
| | Mn | 8-17 | 16-32 | 29-92 |
| | B | 21-24 | 24-25 | 24-30 |

Cuadro 11. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Granex 33 (Bertsch 2003).

| Unidad | Elemento | Bulbo | Parte aérea | Raíz |
|---------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| % | N | 0,99-4,68 | 1,79-3,49 | 1,78-2,97 |
| | P | 0,07-0,23 | 0,13-0,24 | 0,11-0,18 |
| | K | 0,86-2,34 | 1,91-3,58 | 2,77-4,94 |
| | Ca | 0,17-0,59 | 0,42-0,89 | 0,26-0,41 |
| | Mg | 0,10-0,26 | 0,26-0,32 | 0,18-0,31 |
| | S | 0,10-0,11 | 0,15-0,18 | 0,22-0,26 |
| mg.kg ⁻¹ | Fe | 64-374 | 99-489 | 177-495 |
| | Cu | 4-13 | 6-11 | 21-38 |
| | Zn | 4-45 | 11-21 | 25-43 |
| | Mn | 10-24 | 22-45 | 42-81 |
| | B | 19-21 | 23-26 | 22-28 |

Cuadro 12. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Regia (Bertsch 2003).

| Unidad | Elemento | Bulbo | Parte aérea | Raíz |
|---------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| % | N | 0,92-3,24 | 2,00-3,92 | 0,30-3,12 |
| | P | 0,12-0,19 | 0,13-0,19 | 0,11-0,20 |
| | K | 0,97-2,24 | 2,12-3,74 | 3,28-5,24 |
| | Ca | 0,23-0,54 | 0,58-1,05 | 0,31-0,37 |
| | Mg | 0,11-0,22 | 0,27-0,34 | 0,17-0,29 |
| | S | 0,09-0,13 | 0,16-0,19 | 0,21-0,24 |
| mg.kg ⁻¹ | Fe | 90-357 | 77-314 | 198-602 |
| | Cu | 4-10 | 5-8 | 23-44 |
| | Zn | 16-41 | 10-28 | 29-47 |
| | Mn | 10-26 | 29-48 | 35-143 |
| | B | 15-16 | 17-19 | 17-22 |

Cuadro 13. Concentración de elementos en bulbo, parte aérea y raíces de cebolla cultivar Sonic (Bertsch 2003).

| Unidad | Elemento | Bulbo | Parte aérea | Raíz |
|---------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| % | N | 0,80-2,54 | 2,03-3,69 | 1,60-3,47 |
| | P | 0,11-0,23 | 0,12-0,20 | 0,11-0,22 |
| | K | 0,96-2,73 | 1,74-2,73 | 2,89-4,93 |
| | Ca | 0,27-0,62 | 0,48-0,64 | 0,24-0,41 |
| | Mg | 0,11-0,25 | 0,23-0,35 | 0,14-0,30 |
| | S | 0,08-0,09 | 0,16-0,17 | 0,19-0,22 |
| mg.kg ⁻¹ | Fe | 66-543 | 107-319 | 183-550 |
| | Cu | 4-10 | 5-8 | 22-43 |
| | Zn | 11-75 | 8-34 | 8-38 |
| | Mn | 1-31 | 25-39 | 31-111 |
| | B | 17-20 | 21-24 | 19-25 |

A excepción del cultivar Regia, el N fue el macronutriente más absorbido por la cebolla, seguido por el K. En el caso de la cebolla Regia, esta absorbió más K que N. En todos los casos el P fue el menos absorbido por el cultivo. El momento de máxima absorción fue similar entre nutrimentos, referido a cada cultivar en particular.

Cuadro 14. Absorción total de macronutrientes y momentos de máxima absorción de los cultivares de cebolla (Bertsch 2003).

| Elemento | Variables | Variedades | | | |
|----------|--|----------------|-----------|-------|-------|
| | | Gladalan Brown | Granex 33 | Regia | Sonic |
| | Rendimiento (t.ha ⁻¹) | 31 | 27 | 29 | 25 |
| N | Absorción total (kg.ha ⁻¹) | 105 | 85 | 88 | 119 |
| | Momento de máx. absorción (ddt) | 149 | 104 | 133 | 149 |
| P | Absorción total (kg.ha ⁻¹) | 5 | 6 | 9 | 12 |
| | Momento de máx. absorción (ddt) | 133 | 104 | 133 | 149 |
| K | Absorción total (kg.ha ⁻¹) | 75 | 80 | 109 | 115 |
| | Momento de máx. absorción (ddt) | 133 | 104 | 133 | 149 |

3.3 FUNCIÓN DE NUTRIMENTOS EN LOS CULTIVOS DE AJO Y CEBOLLA

Macroelementos

Nitrógeno

Ajo

Forma parte importante en la composición proteica y es vital para las plantas. Incide en la generación de nuevos órganos vegetativos y en la productividad (Medina, 2008). El requerimiento de N es alto, principalmente en la etapa vegetativa; esto en los eventos de

emisión y crecimiento de las hojas, debido a que el tamaño del bulbo será proporcional al tamaño alcanzado por la parte aérea previo a la formación del bulbo. En el otro extremo, la demanda de N es moderada en la etapa de formación y crecimiento del bulbo. Aplicaciones tardías de N incrementan y promueven el crecimiento de hojas, retrasando la maduración y acortando la conservación. El N posee un efecto positivo sobre la coloración de algunos cultivares de ajo (Reveles et al. 2009). Aplicación de tasas crecientes de nitrógeno tuvieron efecto significativo en la producción de bulbos frescos y bulbos curados hasta cierto nivel, luego del cual disminuye la producción, Kilgory et al. (2007). Sarita (1995), señala que excesos de este elemento pueden ocasionar deficiencias de boro, que es el principal microelemento del cultivo del ajo, así mismo produce exceso de brotamiento en bulbillos recién formados.

Cebolla

La concentración de nitrógeno en bulbos cosechados, en base al peso seco es similar en variedades de cebollas rojas, amarillas y blancas. Del total absorbido por el cultivo, el bulbo extrae entre 70% y 90% (Horneck 2004).

La carencia de nitrógeno se observa por poco desarrollo de los órganos vegetativos, color amarillento en las hojas más viejas, maduración precoz de los bulbos y tamaño reducido de estos. Aparte de influir sobre la producción de bulbos, además el nitrógeno actúa en el calibre, calidad, maduración, periodo de almacenaje y resistencia a enfermedades. El déficit de N reduce considerablemente la producción, tamaño del bulbo y la producción comercializable. Además de retrasar la maduración y disminuye el período de almacenamiento (Sullivan et al. 2001).

El exceso favorece el desarrollo vegetativo, provocando que la maduración de los bulbos se efectúe tardíamente, lo que a su vez reduce la vida poscosecha del bulbo, debido a que estos tienden a suavizarse; tornándose más susceptibles a enfermedades durante el periodo de almacenamiento. Variedades de cebolla que difieren marcadamente en el potencial de producción, pueden variar también en su requerimiento por N. Cultivares altamente productivos pueden requerir ligeramente más de este elemento. En resumen; el nitrógeno incide en favorecer el crecimiento y desarrollo vegetativo (Sullivan et al. 2001, (Horneck 2004 y Medina 2008, Black et al. 2012).

Fósforo

Ajo

El fósforo (P) es un nutriente muy importante en la producción exitosa del ajo. A medida que se aumenta el rendimiento del ajo, se incrementa el requerimiento de P junto con la mayoría de otros nutrientes. Las necesidades de fósforo se consideran elevadas en el periodo de bulbificación del ajo (Castellanos et al. 2001 y Reveles et al. 2009). Sin embargo, Kilgory et al. (2007) indican que incrementos en niveles de fósforo no tuvieron efecto significativo en la producción de bulbos de ajo.

El crecimiento de follaje es acelerado por el fósforo, así como la formación temprana del bulbo. Las deficiencias de este elemento alargan el ciclo vegetativo, ensanchan el cuello y marchitan las hojas inferiores (Sarita 1995).

Cebolla

El P sirve como vehículo para el transporte de energía a los diferentes procesos del metabolismo e incide en el desarrollo del sistema radicular. Favorece la maduración y prolonga la vida de anaquel de los bulbos. Las hojas nuevas se tornan color verde oscuras. La carencia de fósforo disminuye y retrasa el desarrollo del cultivo. Las cebollas normalmente son más afectadas por disminuciones en la disponibilidad del fósforo en etapas tempranas del crecimiento, lo que en conjunto provoca baja maduración y crecimiento de los bulbos. La deficiencia en este nutrimento puede también incrementar considerablemente el grosor del cuello de la cebolla a la cosecha. El exceso no es muy común y puede inducir a una deficiencia de calcio (Ca). El fósforo influye en la durabilidad de los bulbos en los anaqueles de los mercados (Sullivan et al. 2001, Horneck 2004, Medina 2008 y Black et al. 2012).

Potasio

Ajo

Como ocurre en otros cultivos, el potasio aumenta la producción y calidad de bulbos provocando su ausencia un amarillamiento de las hojas más viejas (Sarita 1995). Es un nutriente importante para aumentar la producción del ajo. Adecuadas tasas y momentos de aplicación son cruciales para generar respuestas en producción y calidad. Conforme la producción se incrementa, el requerimiento de K aumenta también (Castellanos et al. 2002).

Cebolla

Participa en la síntesis de las proteínas. Importante en el transporte de los hidratos de carbono, favoreciendo la maduración y la resistencia a las enfermedades. Junto con el nitrógeno, son los macronutrientes más consumidos por la cebolla. La carencia, provoca la muerte de las hojas más viejas seguidas por el secamiento y muerte de las puntas, afectando el desarrollo de los bulbos. Eventualmente las hojas pierden turgencia y estas toman una apariencia progresiva satinada papelosa, similar a una deficiencia de N.

El exceso determina una deficiencia del magnesio, nitrógeno y calcio por la acción antagonista del potasio. El potasio influye en favorecer la sanidad de la cebolla (Sullivan et al. 2001, Horneck 2004, Medina 2008 y Black et al. 2012).

Elementos secundarios

Calcio

Ajo

El Ca forma un complejo quelatado muy estable que se une a los pectatos de la lámina media, lo que incrementa la elasticidad de las paredes celulares. El Ca además activa la elongación y multiplicación celular de los tejidos meristemáticos. Una vez que se suspende el suministro de Ca cesa el crecimiento de la raíz en pocas horas (Alcántar et al. 2007). En el cultivo de ajo, la mayor cantidad de Ca se acumula en las hojas.

Cebolla

La elongación y multiplicación celular en los tejidos meristemáticos son activadas por el calcio (Alcántar et al. 2007). Investigaciones del efecto del Ca y Mg sobre la producción de bulbos y calidad es limitada. La mayor absorción de Ca por las plantas ocurre algunas veces cuando es aplicado como nitrato de calcio (Sullivan et al. 2001).

Magnesio

Ajo

La absorción y acumulación de Mg por las plantas es considerablemente inferior que la de Ca y K pero, equivalentes a las de P y S. Es un elemento constitutivo de la molécula de clorofila, lo que representa la principal función de Mg. De los tres elementos secundarios, el Mg es el que se absorbe en menor cantidad por el cultivo de ajo (ver Cuadro 2 de requerimientos para producir una tonelada de ajo).

Cebolla

Forma parte de la clorofila y es un activador enzimático. La deficiencia de Mg provoca un crecimiento lento de la planta y la muerte de plantas débiles. Las hojas más viejas se tornan de color amarillo en toda su longitud. Esta clorosis puede ir seguida del encorvamiento de las puntas de las hojas y su necrosis regresiva. Todo lo anterior provoca una disminución del tamaño del bulbo (Bejo 2012, Medina 2008 y Black et al. 2012).

Azufre

Ajo

La formación de componentes orgánicos en la planta durante la fotosíntesis está estrechamente ligada con el S. Complementariamente, es un nutrimento esencial en la formación de aminoácidos así como en la construcción de bloques de proteínas. Al ser constituyente de algunas enzimas, su deficiencia provoca una disminución general en la síntesis proteica. Los compuestos orgánicos de S volátiles son los que brindan las particulares características de lagrimeo de las cebollas y el olor particular de los ajos (Summers (2009), citado por Reveles et al. 2009).

Este nutrimento cumple un rol nutricional importante en el cultivo del ajo ya que contribuye a la obtención de altos rendimientos, así como para el incremento de la calidad. La deficiencia de S puede desencadenar deficiencias de N, afectando negativamente el rendimiento (Reveles et al. 2009).

Cebolla

El S es un elemento esencial para las plantas y contribuye distintivamente con el sabor de la cebolla. Compuestos volátiles azufrados son liberados por la acción de la enzima allinasa cuando las cebollas son cortadas o sufren alguna abrasión. Las variedades de cebolla varían en la cantidad y tipos de compuestos azufrados presentes en el bulbo. El S es un nutrimento esencial para maximizar la producción de cebolla, sin embargo el exceso puede incrementar la pungencia del bulbo, condición que puede ser no deseable para el mercado fresco y los consumidores (Sullivan et al. 2001 y Medina 2008).

Microelementos

La extracción de micronutrientes por la cebolla es más acelerada durante el crecimiento del bulbo (Sullivan et al. 2001). El hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo), participan en la síntesis de las proteínas siendo excelentes biocatalizadores de enzimas y coenzimas. Son considerados elementos importantes en la nutrición vegetal. Sus carencias provocan clorosis en las hojas, maduración incompleta de los bulbos y bajas disponibilidad en otros nutrientes.

Hierro

Ajo y Cebolla

Solamente una pequeña fracción del Fe total en la planta es soluble, por lo que entre el 80 y 90% esta intensamente unido a moléculas orgánicas. Este elemento participa en la síntesis de clorofila, así como en el funcionamiento y estructura del cloroplasto (Alcántar et al. 2007). El Fe es el micronutriente más extraído tanto por plantas de ajo producidas a partir de tejido de cultivos, como en las provenientes de dientes de ajo tradicional (Resende et al. 1999). En la cebolla es el micronutriente más absorbido por los tejidos y se acumula principalmente en las raíces (Bertsch 2003).

Cobre

Ajo y Cebolla

Este elemento es absorbido por las plantas en muy pequeñas cantidades. (Alcántar et al. 2007). Resende et al. (1999) mencionan que tanto en plantas producidas a partir de tejido de cultivos, como en las provenientes de dientes de ajo tradicional, el Cu es el micronutriente menos absorbido por el cultivo del ajo. Similar al Fe, este micronutriente se acumula principalmente en el sistema radicular. En cebolla, es el micronutriente que menos se absorbe, ya sea por la totalidad del cultivo o inclusive, estrictamente por la

cosecha (Bertsch 2003). Únicamente cantidades pequeñas de Cu son necesarias para el acabado final de las catáfilas y el color (Yara 2012).

Zinc

Ajo y Cebolla

La absorción de Zn por parte de las plantas es muy baja, esto ocurre principalmente en forma de catión divalente. Por otra parte este nutriente participa en la formación de triptófano, precursor de las auxinas (Alcántar et al. 2007). La cebolla es sensible a la deficiencia de Zn, condición que se puede modificar realizando aplicaciones al suelo o foliarmente (Sullivan et al. 2001).

Manganeso

Ajo y Cebolla

El manganeso es un catalizador de las reacciones de oxidación y reducción en los tejidos vegetales. Este micronutriente cumple un importante rol en la producción de clorofila. Su deficiencia suele manifestarse con la aparición de bandas amarillas en la hoja. Las plantas crecen lentamente; los bulbos presentan un desarrollo retardado y con cuellos gruesos. Los síntomas de deficiencia pueden ser confundidos por los producidos por el virus del enanismo amarillo de la cebolla. Resulta difícil incrementar la cantidad de manganeso disponible en el suelo, por lo que las deficiencias de este nutriente se deben de corregir vía foliar (Bejo 2012). Black et al. (2012), indican que una deficiencia de Mn, aparte de retrasar la maduración, también ocasiona un alto porcentaje de cuellos gruesos a la cosecha.

Boro

Ajo y Cebolla

Los requerimientos de B varían considerablemente entre especies, por lo que una concentración puede ser beneficiosa para algunas plantas, para otras puede ser tóxica (Alcántar et al. 2007). En la cebolla, otro integrante como el ajo de la familia de las aliáceas la deficiencia de este elemento resulta en un distorsionado y retrasado crecimiento (Black et al. 2012).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LOCALIZACIÓN

El estudio del ajo Criollo se realizó en la finca de Juan Miguel Córdoba Montoya, ubicada en el distrito de Matinilla del cantón de Santa Ana a una altitud de 1290 msnm. Por su parte, el de la cebolla cv. Aquarius se efectuó en la finca de José Sandí Bustamante, que colinda con el sitio donde se desarrolló el trabajo del ajo, con la diferencia de estar a una altitud de 1280 msnm. El suelo del lugar se clasifica como un Typic Eutrusept.

4.2 MATERIAL DE SIEMBRA

Ajo

Se utilizaron dientes de ajo Criollo, provenientes de bulbos grandes de plantas que cuando estuvieron plantadas mostraron ser vigorosas y sanas. La semilla (diente de ajo), la proporcionó el productor

Cebolla

Se trabajó con el cultivar de cebolla Aquarius de la casa de semillas holandesa Enza Zaden. Este material requiere de un fotoperiodo de día corto (requiere menos de 12 horas de luz), que ha mostrado una gran adaptabilidad a las condiciones agroecológicas de Santa Ana pero, del que no hay información relacionada a sus requerimientos nutricionales a nivel nacional.

4.3 RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

4.3.1 MUESTRAS DE SUELOS

Con el objetivo de determinar los contenidos de nutrimentos en el suelo y así poder conocer la fertilidad del mismo, previo a la siembra y a la aplicación de fertilizantes se efectuó un muestreo de suelos. Con la ayuda de un barreno, se tomaron un total de 15 submuestras a una profundidad aproximada de 20 cm. La profundidad del muestreo se debe a que la mayoría de las raíces del ajo se localizan en los primeros 20 cm superficiales del suelo.

Al suelo muestreado se le realizó la metodología del cuarteo, que consiste en colocar sobre una superficie el suelo recolectado, marcar una cruz sobre este, separarlo en cuatro cuartos, eliminar dos cuartos opuestos y mezclar los dos restantes, seguidamente se repite el proceso hasta obtener una muestras de aproximadamente.

El mismo día de efectuado el muestreo de suelos, se trasladó la muestra al Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR) y se realizó un análisis químico completo, para determinar los contenidos de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B. En el Laboratorio de Suelos y Foliar de la UCR se analizó la muestra, utilizando los respectivos procedimientos. El pH en agua 10:25; Acidez, Al, Ca y Mg con KCl 1M

1:10; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu con Olsen Modificado pH 8,5 (NaHCO₃ 0,5 N, EDTA 0.01M, Superfloc 127) 1:10; S con Ca (H₂PO₄)₂·H₂O 0,008M 10:25. Acidez determinada por valoración con NaOH y Al con HCl; P y S por Colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y los restantes por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

4.3.2 MUESTRAS DE TEJIDOS

En el ajo Criollo, a partir de los 45 DDS (días después de la siembra) se recolectaron las muestras, mientras que para cebolla la colecta se inició desde los 0 DDT (días después del transplante). Se cosechó la planta completa, para luego ser analizada por separado según sus órganos; parte aérea, bulbo y raíz. Los muestreos se hicieron cada 15 días, pretendiendo abarcar los principales eventos fenológicos del cultivo; crecimiento de follaje, bulbificación, crecimiento del bulbo y maduración. Tanto en la toma de muestras, como en el procesamiento de las mismas se siguió la metodología propuesta por Bertsch (2003).

El arreglo de siembra del ajo fue de 13 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, con una densidad de plantación de 236,666 plantas.ha⁻¹. En el cultivo de cebolla, el arreglo de siembra fue de 10 cm entre plantas y 20 cm entre hileras, con una densidad de plantación de 384,615 plantas.ha⁻¹. En ambos cultivos, en cada etapa se seleccionaron lotes al azar en óptimas condiciones, y se tomaron 5 repeticiones de 10 plantas cada una, con un total de 50 plantas muestreadas en cada fecha de evaluación.

La parcela de evaluación consistió en 3 eras de 2 metros de largo y 1,0 m de ancho cada una, con un área aproximada de 6,0 metros cuadrados. En cada repetición se tomaron 10 plantas de la era del centro, que correspondían con un metro lineal de parcela útil.

Para el ajo Criollo se realizaron 7 muestreos, que generaron 20 muestras. No obstante, con el fin de demostrar la veracidad del uso de una muestra compuesta, comparada con la información generada con las 5 repeticiones por separado, en la última fecha de evaluación, las muestras de los bulbos se analizaron en dos formas; 1) una muestra conjunta que abarcó material de las 5 repeticiones y 2) muestras separadas de cada repetición. Considerando lo anterior se analizaron 25 muestra en total. En el caso de la cebolla fueron 9 muestreos, que generaron 23 muestras. Al igual que para el ajo, también se analizaron por separado las 5 repeticiones del bulbo del último muestreo, lo que en total produjo 28 muestras para el estudio.

En cada parcela útil se sustrajeron 10 plantas en forma lineal transversalmente a la dirección de la era. Se removió el suelo para aflojar el que cubría a las raíces tratando de no romperlas. Una vez extraída la planta, esta se colocó junto con las 9 restantes de la respectiva repetición y se empacaron en una bolsa plástica que a su vez se colocó dentro de una hielera a la sombra, con el fin de evitar al máximo la pérdida de agua por deshidratación.

El mismo día del muestreo, se trasladaron las muestras a las instalaciones del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR), donde se llevaron para ser procesadas. Manteniendo siempre la agrupación de plantas por repetición, se procedió a lavarlas con agua destilada y luego con agua deshionizada, retirando cualquier tipo de impureza o contaminante.

Posteriormente a las plantas se les eliminó el agua superficial, se separaron por órganos en raíces, parte aérea y bulbos. Luego se pesaron en una balanza electrónica con una precisión de 0,01g obteniendo así su peso fresco. Realizado esto, se introdujeron las muestras en una estufa a 70°C hasta eliminar por completo la humedad del tejido, el tiempo de duración en la estufa varió con respecto al volumen de tejido por muestra y al tipo de órgano, ya que los bulbos en las etapas más avanzadas duraron más tiempo en secarse que las raíces y parte aérea.

Luego de determinar el peso seco las muestras se pasaron por un molino para tejido foliar, se colocaron en frascos, identificaron y entregaron a la recepción de muestras del CIA para que el laboratorio realizara los análisis que consistieron en la determinación N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Para el N se siguió el procedimiento de combustión seca en Autoanalizador. En el caso de los restantes elementos por digestión húmeda con HNO₃ y determinación por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma (ICP) (Díaz-Romeu y Hunter 1978).

Se calculó la absorción total de nutrientes, que consiste en multiplicar la concentración de cada elemento por su valor de biomasa (peso seco), esto en cada órgano estudiado de la planta. Adicionalmente, se calculó el incremento de la cantidad promedio de nutrientes absorbidos por muestreo, dato que se genera a partir de la cantidad total del nutriente absorbida en cada muestreo, al que se le resta la cantidad extraída en el periodo anterior de la evaluación precedente.

4.4 LABORES DE SIEMBRA Y COSECHA

Ajo

La siembra se hizo el 24 de octubre del 2011. La preparación del terreno consistió en la utilización de un monocultivador sobre las eras, para soltar el terreno; posteriormente se realizó la palea y se pasó el rastrillo para acomodar el terreno y afinar la superficie de la era. Al suelo se le aplicaron los herbicidas sellador (Goal 1L/200L + Alanex 1L/200L). Transcurridos 10 días de aplicado el sello, manualmente se sembraron los dientes de ajo en posición vertical, con la base del diente hacia abajo.

Cuando la mayoría de las plantas presentaban un 50% de la parte aérea verde, se procedió a cosechar. Esta labor se efectuó aproximadamente a los 130 DDS, el 24 de febrero del 2012. Luego de cosechar las plantas, estas se agruparon y acomodaron sobre el terreno de forma que la parte aérea que continúa verde seque al menos un 25% más. En esta labor se evita que los bulbos queden expuestos a la luz solar directa, ya que puede afectar su calidad.

Cebolla

La siembra de la semilla para el almácigo fue el 5 de setiembre del 2011, mientras que el trasplante se efectuó el 6 de noviembre del mismo año. La preparación del terreno fue similar a la descrita para el ajo. Transcurridos 10 días de aplicado el herbicida pre emergente, se trasplantó manualmente el almácigo, el cual consistió en plántulas de cebolla sanas del cultivar Aquarius.

Posterior a la etapa de maduración del bulbo, cuando cesa por completo el desarrollo vegetativo de la parte aérea, las hojas se doblan a la altura del cuello de la cebolla, zona localizada entre la parte superior del bulbo y la base del follaje. Posterior a eso, se dejaron pasar varios días para que el bulbo completara por completo su llenado y se realizó la cosecha aproximadamente 120 días después del trasplante, el 29 de febrero del 2012. Con las plantas cosechadas se realizó un tendido de cebolla, acomodando las plantas de forma tal que quedaran expuestas las hojas pero, el bulbo tapado de los rayos directos del sol.

Por último se estimó el rendimiento, pesando la cosecha obtenida en 5 repeticiones de 1m² cada una, lo que permitió calcular la cantidad de kg.ha⁻¹. Se debe de mencionar que al igual que el ajo, en el cultivo de la cebolla no todas las plantas tienen exactamente el mismo tiempo a cosecha, por lo que anteriormente se menciona de tiempo aproximado a cosecha, ya que se debe de esperar que la mayoría del área esté volcada por completo, indicador de madurez.

4.5 FERTILIZACIÓN

Ajo

La fertilización que se le realizó al cultivo del ajo Criollo se presenta en el siguiente cuadro, donde se muestran las fuentes utilizadas y los momentos de aplicación.

Cuadro 15. Cantidad de fertilizante aplicado al suelo al cultivo de ajo Criollo en la finca de Juan Miguel Córdoba, en el ciclo productivo 2011-2012.

| Fertilizante | Fórmula | Días después de la siembra | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|----------------------------|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 | 105 | 112 | 120 | 127 |
| | | kg.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10-30-10 | 10-30-10 | | 360 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hydrocomplex | 12-11-18-3+8 S+0,02 Zn+ 0,015 B ₂ O ₃ | | | | | 180 | | | | 180 | | | | | | | | | | |

Cebolla

Como se aprecia en el siguiente cuadro, el programa de fertilización aportado a la cebolla Aquarius incluyó fertilizantes granulados que fueron aplicados al suelo y solubles vía goteo.

Cuadro 16. Cantidad de fertilizante aplicado al suelo en forma granulada y por goteo al cultivo de cebolla cultivar Aquarius en la finca de José Sandí Bustamente, en el ciclo productivo 2011-2012.

| Fertilizante | Fórmula | Días después del trasplante | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| | | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 | 105 | 112 | 120 |
| | | kg.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10-30-10 | 10-30-10 | | 225 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato monoamónico | 12-60-0 | | 50 | 50 | 50 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19-19-19 | 19-19-19 | | | | | 50 | 50 | 50 | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de potasio | 13-0-44 | | | | | | | | | 50 | 50 | | | | | | | | |
| 18-5-15-6-2 | 18-5-15-6-2 | | | | | 225 | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfato de potasio y magnesio | 0-0-22-18+ 22 S | | | | | | | | | 135 | | | | | | | | | |
| Hydrocomplex | 12-11-18-3+8 S+0,02 Zn+ 0,015 B ₂ O ₃ | | | | | | | | | 135 | | | | | | | | | |

4.6 ANÁLISIS DE DATOS

A los datos de peso seco se les estimó la desviación estándar (D.E.) y el coeficiente de variación (C.V.) con el fin de determinar si las muestras eran representativas, para lo que se consideró aceptable un valor igual o menor de 30% de C.V.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN: AJO

5.1.1 ANÁLISIS DE SUELO

El terreno se muestreo previo a la preparación y trasplante. Se debe de mencionar que el resultado de varios nutrimentos obedece a características propias del suelo y a que son terrenos dedicados a la agricultura y estos reciben un considerable aporte de fertilizantes en cada ciclo productivo, condición que va incrementando los contenidos de algunos elementos en el sustrato del cultivo. Las características químicas del suelo se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Análisis de suelos químico del terreno destinado a la siembra de ajo Criollo en la finca de Juan Miguel Córdoba.

| ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|-------|------|------|-------|----|--------------------|------|----|-----|----|
| Solución Extractora: | pH | cmol(+).l ⁻¹ | | | | | % | mg.l ⁻¹ | | | | |
| KCl-Olsen Modificado | H ₂ O | ACIDEZ | Ca | Mg | K | CICE | SA | P | Zn | Cu | Fe | Mn |
| Nivel Crítico | 5,5 | 0,5 | 4 | 1 | 0,2 | 5 | | 10 | 3 | 1 | 10 | 5 |
| Lote Ajo | 6,5 | 0,19 | 13,72 | 2,27 | 0,65 | 16,83 | 1 | 186 | 11,5 | 12 | 187 | 9 |

Los resultados de las variables de pH en agua, acidez intercambiable y porcentaje de saturación de aluminio indican que el terreno donde se realizó el experimento, no presenta problemas de acidez. Los contenidos de Ca (13.72 cmol(+).l⁻¹) y K (0.65 cmol(+).l⁻¹) son óptimos, mientras que el Mg (2.27 cmol(+).l⁻¹) resultó medio. Al revisar el resultado de la relación entre bases, se detectó un ligero desbalance en la relación Ca/Mg (ver Cuadro 18), ya que el rango de la misma es entre 2 y 5, y el resultado fue de 6. El desbalance mencionado se interpreta como que existe poco Mg para la cantidad de Ca presente en dicho suelo. Considerando la suma de bases (Ca+Mg+K, valor igual a 16.64 cmol(+).l⁻¹) se deduce que el suelo evaluado cuenta con una alta fertilidad (Bertsch 1998).

Cuadro 18. Relación entre bases del análisis de suelos del terreno destinado a la siembra de cebolla en la finca de Juan Miguel Córdoba.

| Relación entre bases | Ca/Mg | Ca/K | Mg/K | Ca+Mg/K |
|-----------------------|-------|------|--------|---------|
| Valores de referencia | 2-5 | 5-25 | 2,5-15 | 10-40 |
| Resultados | 6 | 21 | 3 | 25 |

Los niveles de P (186 mg.l⁻¹) y Zn (11.5 mg.l⁻¹) son altos. El Cu (12 mg.l⁻¹) óptimo, el Mn (9 mg.l⁻¹) medio y por último el Fe (187 mg.l⁻¹) resultó alto. Con relación al Fe, se debe de mencionar que frecuentemente los resultados de análisis de suelos realizados en la zona lo reportan como alto, ya que supera los 50 mg.l⁻¹.

5.1.2 CONDICIONES AMBIENTALES Y RENDIMIENTO

Clima: las condiciones meteorológicas fueron las normales para la época, ya que no se registraron variaciones considerables de temperatura media, luminosidad y precipitación durante el desarrollo del trabajo. Al inicio del cultivo se experimentó la salida de la época

lluviosa tradicional, con importante cantidad de lluvia, mientras que al momento de la cosecha, en plena época seca, el clima favoreció un adecuado llenado de los bulbos y secado de los mismos.

Enfermedades y plagas: en cuanto a enfermedades; a nivel foliar el cultivo únicamente presentó una baja incidencia de *Alternaria porri*, que fue oportunamente controlada y no afectó significativamente la producción. Alrededor de los 105 DDS, se registró la existencia de raíces con *Pyrenochaeta terrestris*, conocida como “Raíz Rosada”, se trató acertadamente y no influyó en forma negativa sobre el rendimiento del ajo. En las etapas finales del cultivo, se detectaron larvas y adultos del insecto *Thrips tabaci*, conocido como piojillo, el que fue controlado, sin llegar a afectar la producción.

Rendimiento: la producción alcanzada fue de 10,7 t.ha⁻¹, valor que se interpreta como muy satisfactorio debido a que según algunos autores (Coto 1974 y García 1995), los rendimientos nacionales del cultivo del ajo oscilan entre 5,5 y 8,0 t.ha⁻¹.

5.1.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE TEJIDOS

5.1.3.1 GENERALIDADES

Cuadro 19. Determinación del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación entre las 5 repeticiones de la evaluación final del bulbo de ajo Criollo.

| Identificación | % | | | | | | mg.kg ⁻¹ | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | N | P | Ca | Mg | K | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Bulbo, 130 DDS, R 1 | 2,28 | 0,29 | 0,71 | 0,08 | 1,13 | 0,62 | 36 | 6 | 22 | 19 | 12 |
| Bulbo, 130 DDS, R 2 | 2,22 | 0,33 | 0,72 | 0,09 | 1,15 | 0,60 | 31 | 7 | 26 | 20 | 13 |
| Bulbo, 130 DDS, R 3 | 2,62 | 0,32 | 0,74 | 0,08 | 1,12 | 0,65 | 34 | 7 | 26 | 17 | 12 |
| Bulbo, 130 DDS, R 4 | 2,49 | 0,28 | 0,85 | 0,08 | 1,08 | 0,62 | 30 | 6 | 26 | 22 | 13 |
| Bulbo, 130 DDS, R 5 | 2,57 | 0,31 | 0,75 | 0,08 | 1,06 | 0,65 | 31 | 6 | 25 | 19 | 12 |
| Promedio (X) | 2,44 | 0,31 | 0,75 | 0,08 | 1,11 | 0,63 | 32,40 | 6,40 | 25,00 | 19,40 | 12,40 |
| Desviación estándar (DE) | 0,18 | 0,02 | 0,06 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 2,51 | 0,55 | 1,73 | 1,82 | 0,55 |
| Coefficiente de variación (CV) | 7,28 | 6,78 | 7,42 | 5,45 | 3,34 | 3,45 | 7,75 | 8,56 | 6,93 | 9,36 | 4,42 |

Por otra parte, luego de comparar los promedios de cada nutriente con el resultado de la muestra compuesta, se aprecia que es leve la diferencia entre tales datos. Esta información sustenta la decisión de trabajar con muestras compuestas en comparación a emplear las repeticiones por separado, de esta manera se puede reducir el costo de la confección de curvas de absorción sin influir negativamente sobre la veracidad de los resultados.

Cuadro 20. Comparación de los promedios de cada nutrimento procedente de las 5 repeticiones, con el resultado de la muestra compuesta de la evaluación final del bulbo de ajo Criollo.

| Identificación | % | | | | | | mg.kg ⁻¹ | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|---------------------|----|----|----|----|
| | N | P | Ca | Mg | K | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Promedio (X) | 2,44 | 0,31 | 0,75 | 0,08 | 1,11 | 0,63 | 32 | 6 | 25 | 19 | 12 |
| Bulbo, 130 DDS, muestra combinada* | 2,46 | 0,32 | 0,68 | 0,08 | 1,12 | 0,64 | 33 | 6 | 25 | 19 | 12 |

Para constatar si las muestras de tejidos eran representativas o no, se estimaron promedios, desviaciones estándar (D.E.) y coeficientes de variación (C.V.), contemplando como muestras significativas aquellas cuyo C.V. no fuera superior al 30%. Este cotejo permitió corroborar que esta condición se cumplió para la mayoría de los casos y la información incrementó su precisión hacia finales de las evaluaciones, ya que la homogeneidad del cultivo también iba en incremento con el tiempo.

El peso fresco promedio durante todo el ciclo del cultivo resultó muy similar en follaje (87%) como en raíces (88%), mientras que el órgano que acumuló menos agua fue en todas las ocasiones el bulbo o cabeza (80%). Por otra parte, lo opuesto sucedió con el comportamiento del peso seco, donde la acumulación de éste, en orden decreciente fue en los bulbos (20%), seguida por las hojas (13%) y por último en las raíces (12%).

5.1.3.2 CONCENTRACIÓN DE NUTRIMENTOS

Completado el ciclo del cultivo del ajo, considerando la acumulación total de nutrimentos, se obtuvieron los siguientes resultados.

•**Efecto de edad del cultivo:** Las concentraciones de N, P y K disminuyeron en todos los tejidos y durante todo el ciclo de cultivo. El Ca aumentó en hojas y raíces pero, disminuyó en los bulbos, mientras que lo opuesto se registró con el S. El Mg aumentó en hojas, disminuyó en bulbos y se mantuvo igual en raíces.

•**Efecto de tipo de tejido:** en los elementos mayores y secundarios, en orden decreciente según el tipo de tejido fue el siguiente:

Elementos mayores y secundarios

Parte aérea: K>N>Ca>S>P>Mg.

Raíces: K>N>Ca>S>P>Mg.

Bulbo: N>K>Ca>S>P>Mg.

En el caso de los elementos menores fue la siguiente:

Parte aérea: Fe>B>Mn>Zn>Cu.

Raíces: Fe>Mn>Cu>Zn>B.

Bulbo: Fe>Zn>Mn>B>Cu.

Cuadro 21. Rangos de concentraciones de los elementos en los diferentes tejidos del ajo Criollo.

| | Elemento | Bulbo | Parte aérea | Raíz |
|---------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| % | N | 1,42-4,37 | 1,55-4,51 | 1,54-4,07 |
| | P | 0,20-0,45 | 0,15-0,45 | 0,16-0,36 |
| | K | 0,99-2,65 | 2,65-4,69 | 2,29-5,01 |
| | Ca | 0,68-1,57 | 0,95-1,71 | 0,56-1,33 |
| | Mg | 0,08-0,18 | 0,25-0,38 | 0,15-0,20 |
| | S | 0,33-0,64 | 0,32-0,76 | 0,40-0,94 |
| mg.kg ⁻¹ | Fe | 33-71 | 88-534 | 1008-3992 |
| | Cu | 4-7 | 6-9 | 48-106 |
| | Zn | 21-38 | 15-33 | 41-73 |
| | Mn | 18-29 | 38-52 | 76-185 |
| | B | 12-17 | 23-84 | 22-29 |

Completado todo el ciclo de cultivo, las mayores concentraciones de macroelementos se observaron en la parte aérea, seguida por los bulbos y la parte radical de último, sin embargo las raíces concentraron más Mg y S que los bulbos. El B se concentró más en la parte aérea, y los restantes microelementos mayoritariamente en las raíces.

Sin considerar el tipo de tejido, la concentración total de macroelementos y elementos secundarios en orden decreciente son: N>K>Ca>S>P>Mg, mientras que para los microelementos la situación es la siguiente: Fe>Mn>Zn>B>Cu.

5.13.3 CURVAS DE CRECIMIENTO

Para poder confeccionar las curvas de absorción de nutrientes; se debe generar previamente la curva de crecimiento del cultivo, en términos de peso seco. Lo relevante de esta curva, es que permite establecer las principales etapas fenológicas del cultivo y la participación de cada tejido en ellas contribuyendo grandemente a establecer un manejo adecuado del cultivo, particularmente de la nutrición (Bertsch 2005).

•**Efecto de edad del cultivo:** al inicio del cultivo, la planta genera simultáneamente raíces y hojas, mientras que el inicio de la bulbificación ocurre cercano a los 72 DDS, presentando el mayor incremento en peso seco a los 100 DDS.

•**Efecto de tipo de tejido:** inicialmente, la planta de ajo concentra su crecimiento en la producción de hojas y raíces; estas últimas presentan una acumulación constante y poco variable a través del ciclo, siendo muy poco afectadas durante los diferentes eventos fenológicos del ajo. Los mayores incrementos de peso seco se registraron a los 100 DDS y 114 DDS, coincidiendo con la etapa más intensa de crecimiento del bulbo, debido a la translocación de nutrimentos desde la fuente (parte aérea); hacia el sumidero (bulbo). En términos relativos, tales eventos suceden alrededor del 81% y 93% del ciclo del cultivo.

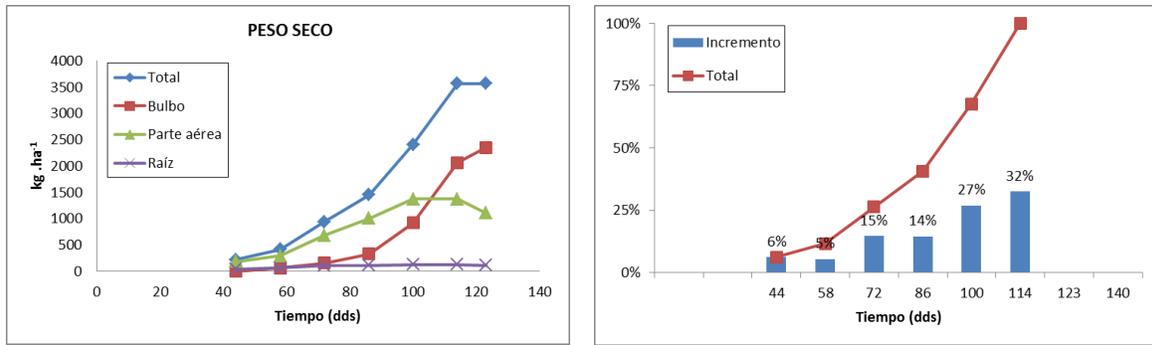


Figura 1. Curva de crecimiento del ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

La acumulación de materia seca en toda la planta se incrementa notablemente, próxima a la mitad del ciclo productivo. El bulbo por su parte lo hace de forma más tardía, poco antes de haber completado las primeras tres cuartas partes del ciclo (alrededor del 75%), ver Figura 2.

El período de mayor acumulación de materia en el bulbo ocurre a los 100 DDS y 114 DDS, en el último cuarto del ciclo; ya que transcurrido un 75% de este, se registra un incremento significativo en la absorción de este órgano.

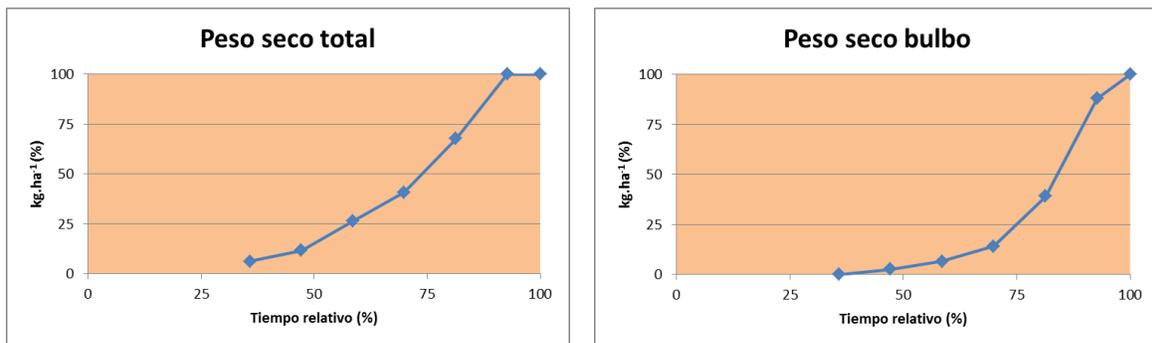


Figura 2. Comparación de los ciclos de crecimiento del ajo Criollo (transformando el tiempo en %) y del de formación de los bulbos.

5.1.3.4 CURVAS DE ABSORCIÓN

Los resultados obtenidos del análisis de las curvas de absorción de nutrientes del presente estudio, dejan en evidencia que ocurre translocación de algunos nutrientes desde la parte aérea hacia el bulbo, esto en las etapas de crecimiento de dicho órgano y madurez del mismo. Por otra parte, otros elementos que al ser poco móviles dentro de la planta no se translocan, determinándose más de ellos en el follaje del cultivo.

5.1.3.4.1 ABSORCIÓN DE MACROELEMENTOS: N, P y K.

Nitrógeno

Al inicio del cultivo, la parte aérea absorbe más N que el resto de los órganos y esto sucede en incrementos de magnitud semejante, situación que varía a partir de los 100 DDS, ya que ocurre una translocación desde el follaje hacia el órgano de reserva; a partir de esto; el bulbo continúa aumentando la absorción de N, hasta alcanzar el mayor incremento (35%) al final del cultivo. Las raíces registraron una absorción baja y sostenida durante la mayoría del ciclo del cultivo, con una extracción por la cosecha del 70% del total de N absorbido. La disminución en la absorción registrada en la última evaluación, se debe a que para ese momento varias de las hojas más adultas han senecido y hay menos biomasa donde acumular N.

Fósforo

Desde el inicio del cultivo hasta los 100 DDS la parte aérea absorbe más P que el resto de la planta, posteriormente se evidencia una disminución de este nutrimento en las hojas y simultáneamente un incremento en el bulbo, el que es máximo a los 114 DDS (25%). La raíz es el órgano que logró la menor absorción y no varía significativamente durante todo el ciclo. De 9 kg de P por hectárea absorbidos por el ajo, un 81% queda en los bulbos.

Potasio

La parte aérea absorbió más potasio durante todo el ciclo de cultivo, que el bulbo o las raíces. Además, los mayores incrementos fueron en las etapas iniciales y no hacia el final del cultivo, como sí ocurrió con el N y P. Al no ser el K un elemento estructural, al final ocurre una merma en la absorción que se asocia con la muerte de las hojas más viejas y su movimiento hacia sitios en crecimiento más activo. Un 41% del total de K absorbido se queda en el bulbo, siendo la parte aérea la que más absorbe este nutrimento, con un valor superior al 50%.

La translocación de nutrientes de la parte aérea (fuente) hacia el bulbo (sumidero) ocurre en los tres macronutrientes; manifestándose claramente su movilidad dentro de la planta (ver Anexo 5). Los incrementos en absorción más acentuados del N y P fueron hacia el final del cultivo, mientras que en el caso del K, pasa lo contrario. En orden decreciente, la absorción relativa en el bulbo fue $N > K > P$.

Comparando los resultados obtenidos de absorción total de macronutrientes en términos de $t \cdot ha^{-1}$ (Cuadro 2); con los de otros autores (Ruíz 1985, Castellanos 2001 y 2002, Bertsch 2003 y Yara 2012), se deduce que hay ligeras variaciones en cuanto a las cantidades extraídas de N, P y K reportadas, no obstante, en todos los casos siempre el orden decreciente de absorción total fue N, seguido del K y por último el P, considerablemente inferior a los dos primeros, resultados que coinciden con lo obtenido por Campillo y Toro (2002), quienes determinaron que en orden decreciente, la absorción de macronutrientes y elementos secundarios, el cultivo del ajo es de $N > K > Ca > P > Mg$. Se debe de mencionar que en dicho trabajo no se estudió la absorción de S.

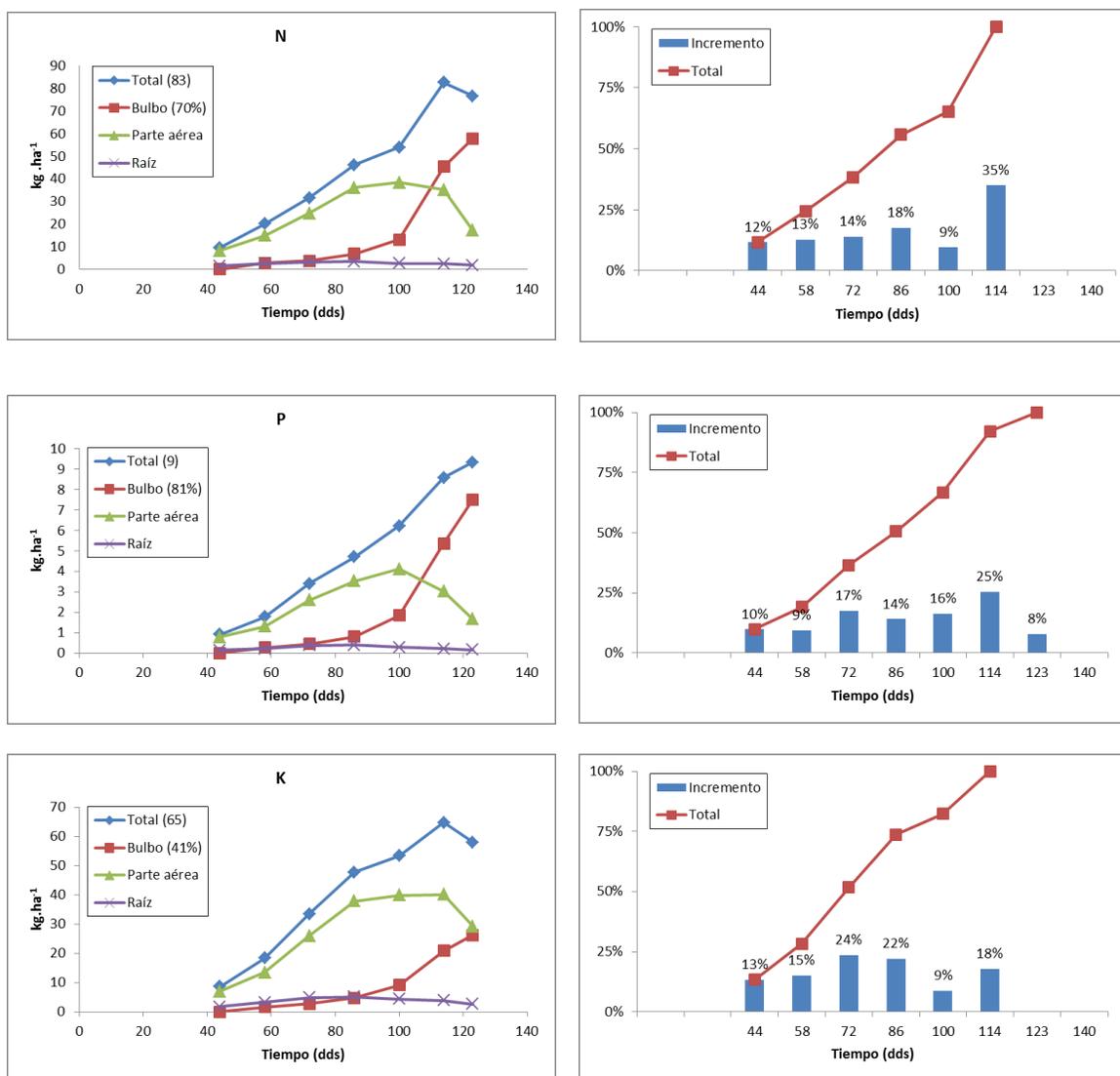


Figura 3. Absorción de macronutrientes por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, San José, 2011-2012.

Porcentualmente, a la mitad del ciclo habían sido extraídas cantidades similares de N, P y K, situación que varió notablemente al 75% del tiempo total del cultivo, pues mientras que los nutrientes N y P habían completado alrededor del 50% de la absorción total, para el K dicho valor es muy cercano al 75%. Lo anterior sugiere que en el cultivo de ajo Criollo, el K es el macroelemento que se absorbe más pronto, seguido por el N, mientras que el P se absorbe inclusive hasta el final del cultivo.

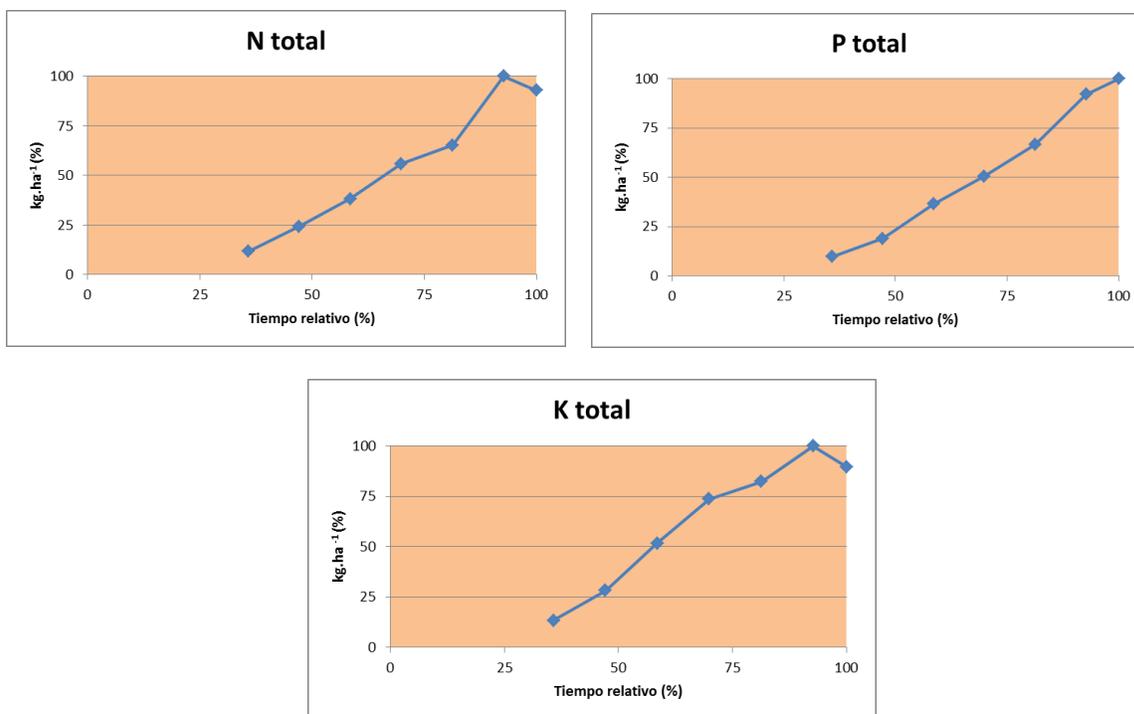


Figura 4. Absorción relativa de macronutrientes por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

En términos totales, N es el elemento mayor más absorbido por el ajo, seguido por el K y por último el P, cuyos requerimientos son considerablemente menores.

Para un rendimiento estimado de 10,7 t.ha⁻¹, el cultivo de ajo criollo extrae 83 kg.ha⁻¹ de N, 9 kg.ha⁻¹ de P y 65 kg.ha⁻¹ de K. El requerimiento de N, P y K para producir 1 ton de bulbos de ajo (cosecha), se presenta en el Cuadro 22. Se debe aclarar que en el caso del cultivo del ajo criollo, posterior al proceso de secado, el productor costarricense comercializa la planta y no exclusivamente el bulbo, como si ocurre en cebolla, aliacea que se comercializa en ambas modalidades.

Cuadro 22. Cantidad en kg.ha⁻¹ de N, P y K absorbidos por el ajo criollo para producir 1 t de bulbos.

| Absorción total (kg.t ⁻¹) | | | Absorción cosecha (kg.t ⁻¹) | | |
|--|-----|-----|--|-----|-----|
| N | P | K | N | P | K |
| 7,7 | 0,9 | 6,1 | 5,4 | 0,7 | 2,5 |

La absorción de macronutrientes por la cosecha, mantiene el mismo orden registrado en la absorción total. En orden decreciente de nuevo fue N>K>P.

5.1.2.4.2 ABSORCIÓN DE ELEMENTOS SECUNDARIOS: Ca, Mg y S.

Calcio

La mayor cuota de calcio es absorbida por la parte aérea, seguida por el bulbo y en último lugar las raíces. La cosecha extrae un 44% del total absorbido por el cultivo. Al ser un elemento inmóvil dentro de la planta (Alcántar et al. 2007), este no se transloca de las hojas hacia el órgano de acumulación. Los incrementos se fueron desarrollando progresivamente pero, sin notarse un aumento brusco en la absorción durante el desarrollo del cultivo. En este caso en particular, el nutrimento es absorbido por la planta mayoritariamente hacia el final del ciclo.

Magnesio

En primer lugar el follaje, seguido por el bulbo y en último lugar las raíces, es el orden de mayor a menor absorción de Mg en el cultivo del ajo. La cosecha representa un 30% de la absorción de este nutrimento. A pesar de ser un elemento móvil dentro de la planta, no se registró una translocación acentuada hacia el bulbo. Los incrementos son graduales durante el tiempo, siendo al final del cultivo donde sucede el mayor de estos (26%), situación que se combina con un decrecimiento en el contenido de Mg en follaje y un aumento en ese mismo lapso en el bulbo.

Azufre

Al inicio del cultivo la parte aérea absorbe más S que los demás órganos, condición que cambia alrededor de los 100 DDS, ya que a partir de esa edad, el bulbo pasa a ocupar un primer lugar, logrando acumular un 80% del total absorbido. En este caso, a pesar de tratarse de un elemento clasificado como de mediana movilidad dentro de la planta, se registró una clara e intensa translocación desde la parte aérea hacia el bulbo; posterior a los 100 DDS, período en el que se cuantificó el mayor incremento en absorción (32%).

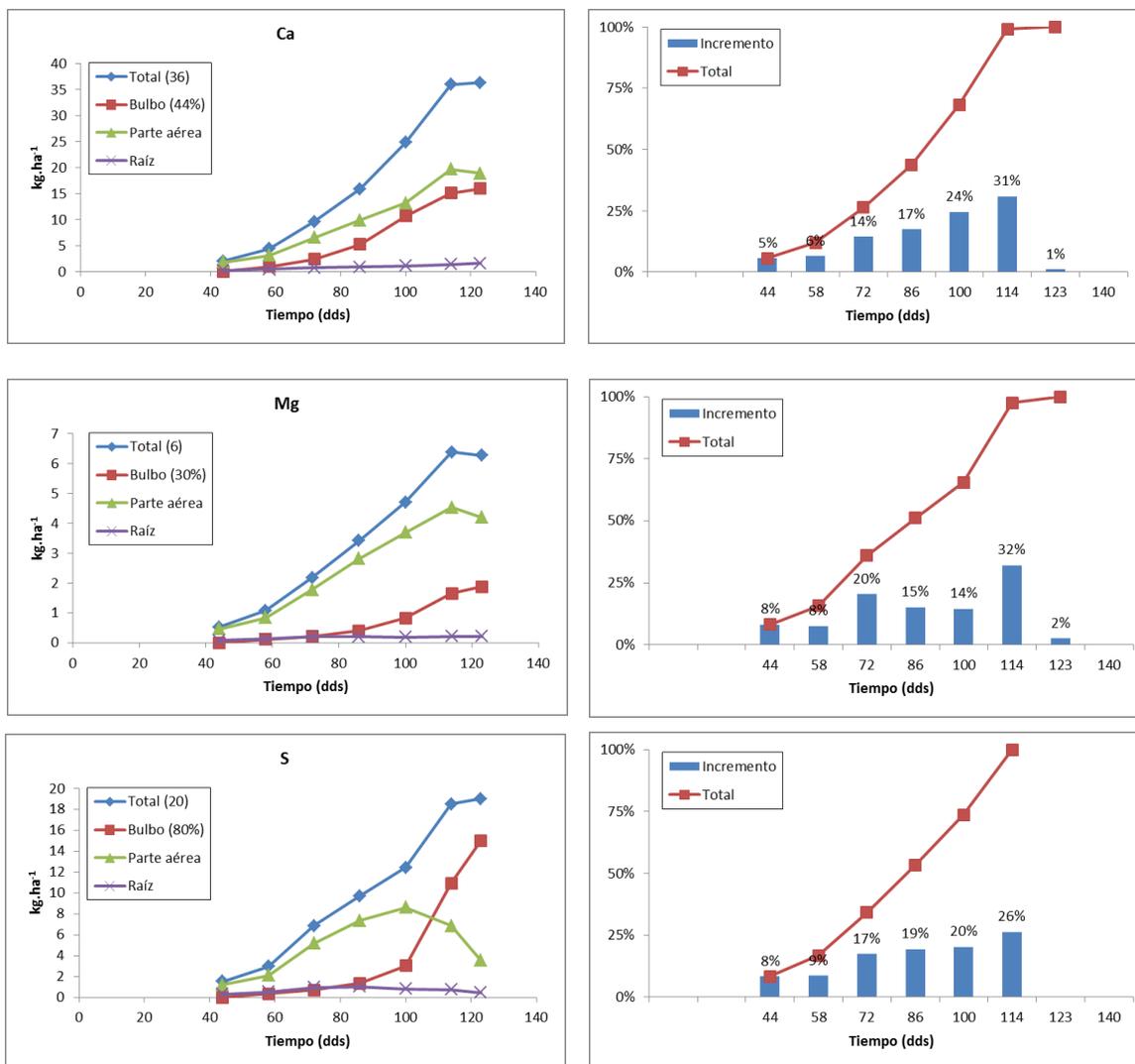


Figura 5. Absorción de elementos secundarios por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

Las tendencias de absorción total de Ca y Mg; presentaron un comportamiento similar para el cultivo del ajo criollo. En el caso del S, los incrementos fueron más bruscos, condición que se refleja en el comportamiento de la curva.

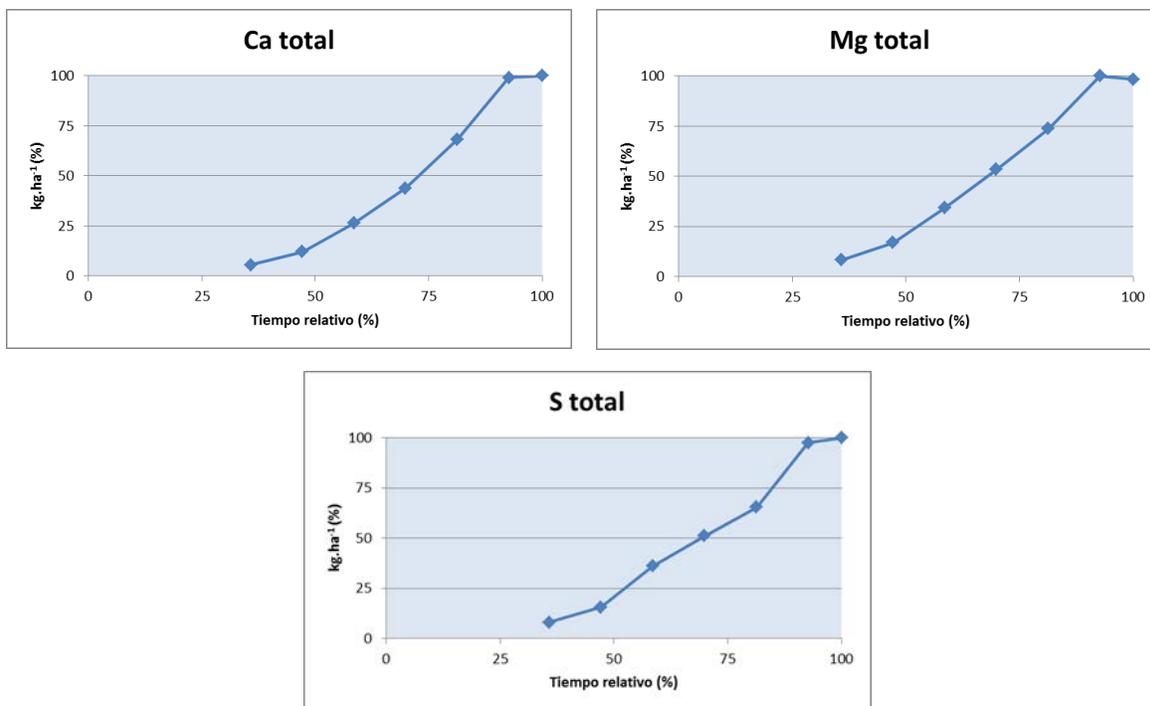


Figura 6. Absorción relativa de elementos secundarios por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

El Ca (36 kg.ha^{-1}) es el elemento secundario más absorbido por el cultivo del ajo, este seguido por el S (19 kg.ha^{-1}) y por último el Mg ($6,3 \text{ kg.ha}^{-1}$). Este mismo orden se mantuvo a lo largo del ciclo.

Para producir una tonelada de plantas de ajo, el cultivo consume $3,4 \text{ kg}$ de Ca, $1,8 \text{ kg}$ de S y $0,6 \text{ kg}$ de Mg. Exclusivamente por los bulbos, la absorción de Ca es de $1,5 \text{ kg.t}^{-1}$, $1,4 \text{ kg.t}^{-1}$ de S y $0,2 \text{ kg.t}^{-1}$ de Mg, una tercera parte del total.

Cuadro 23. Cantidad en kg.ha^{-1} de Ca, Mg y S absorbidos por el ajo criollo para producir 1 t de plantas y la respectiva absorción por la cosecha.

| Absorción total (kg.t^{-1}) | | | Absorción cosecha (kg.t^{-1}) | | |
|---|-----|-----|---|-----|-----|
| Ca | Mg | S | Ca | Mg | S |
| 3,4 | 0,6 | 1,8 | 1,5 | 0,2 | 1,4 |

5.1.2.4.3 ABSORCIÓN DE MICRONUTRIENTES: Fe, Cu, Zn, Mn y B.

Hierro

El comportamiento de la absorción de Fe por el cultivo de ajo fue irregular. Su consumo fue aumentando hasta llegar a los 86 DDS, después de lo que se registra una disminución atípica a los 100 DDS, posiblemente por efecto de concentración, específicamente a la edad indicada. Posterior ocurre el último incremento de Fe dentro de la planta; en plena etapa de llenado y maduración del bulbo. Durante la mayoría del ciclo, las raíces absorbieron la mayor cantidad de Fe, situación que varió al final, donde la parte aérea manifestó mayor contenido de este elemento. En este caso se evidencia una ligera translocación de las raíces hacia el bulbo, pues al final se reporta un incremento en el contenido de este órgano, lo anterior considerando que el Fe tiene una movilidad intermedia dentro de la planta. Del total absorbido, el bulbo extrae un 13%.

Cobre

Durante las etapas iniciales del cultivo, las raíces absorben más Cu que los demás órganos, condición que cambia a partir de los 100 DDS, ya que después de dicha edad, ocurre la etapa de intenso llenado y maduración del bulbo, momento que coincide con el fenómeno de translocación de hojas y raíces (fuentes de Cu) hacia el bulbo (sumidero), teniendo por entendido que al igual que el Fe, el Cu cuenta con mediana movilidad dentro de la planta. El mayor incremento en absorción ocurre a los 72 DDS, posterior a eso suceden aumentos de semejante magnitud. Del total absorbido, la cosecha extrae una considerable porción de Cu (45%).

Zinc

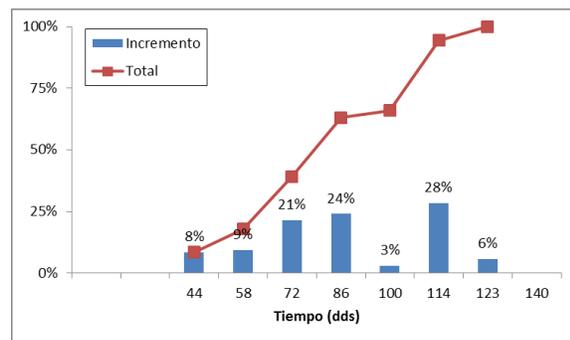
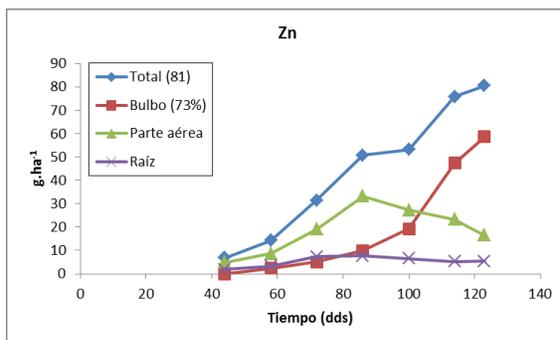
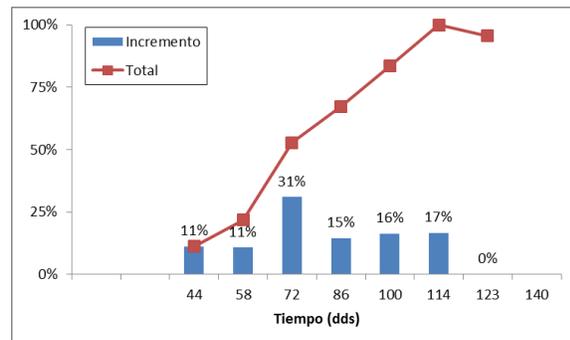
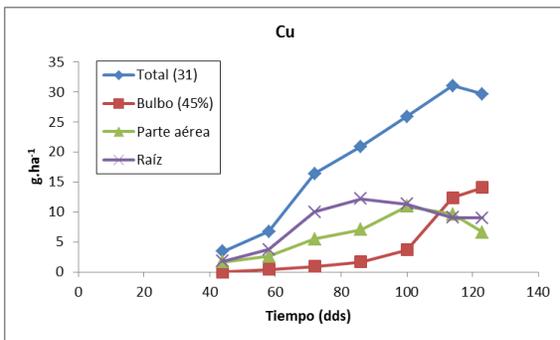
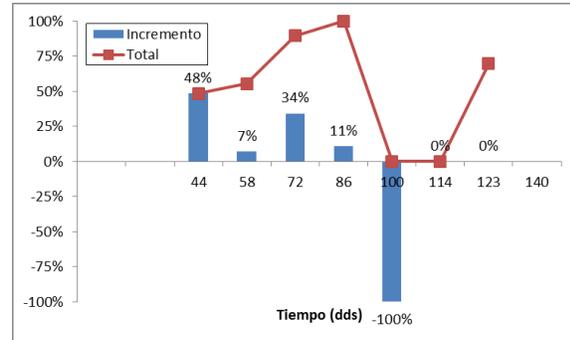
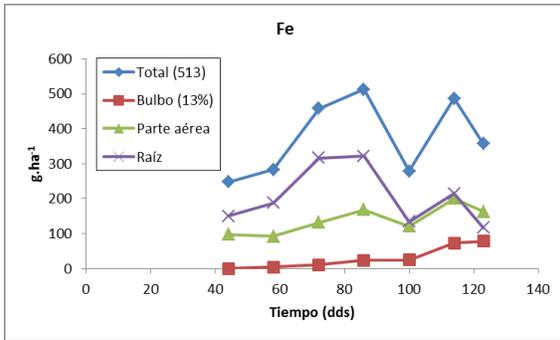
Desde los 45 DDS hasta los 86 DDS la parte aérea absorbe la mayor cantidad de Zn, dándose los incrementos más intensos a los 72 DDS (21%) y 86 DDS (24%), posteriormente, al igual que con otros elementos de mediana movilidad y en la etapa de llenado y maduración del bulbo (100 DDS), se registra una translocación de Zn desde el follaje hacia el bulbo, la que sucede acompañada del mayor incremento en absorción de dicho elemento por la planta (28%) y el incremento más brusco en el contenido del bulbo, extrayéndose este un 73% del total absorbido por la planta. En orden decreciente, la mayor acumulación de Zn dentro de la según el órgano, bulbos>parte aérea>raíces.

Manganeso

Desde los 45 DDS hasta los 86 DDS la parte aérea y las raíces son los órganos que absorben más Mn. En adelante, el follaje se convierte en el órgano que más absorbe este elemento, mientras que la raíz a partir de los 100 DDS, disminuye su consumo y pasa a ser el bulbo el órgano con la segunda mayor absorción de Mn en la planta. No se registró translocación de follaje a bulbos principalmente por ser dicho elemento inmóvil dentro de la planta, no obstante, ocurre un incremento en absorción de Mn por el bulbo, la que sucede ya sea por la extracción de las raíces y por las aplicaciones foliares de este nutrimento, manteniéndose su aumento hasta el final del ciclo. El bulbo extrae un 41% del Mn absorbido por la planta, situación que refleja la importancia de este elemento para el cultivo del ajo.

Boro

Claramente, el B durante todo el ciclo de cultivo se absorbe mayoritariamente por la parte aérea, seguido del bulbo con un 23% del total y en último lugar las raíces. La característica de elemento inmóvil se refleja en la curva de absorción, donde no se registró translocación hacia el bulbo, por el contrario, hubo incrementos sostenidos desde 44 DDS hasta los 114 DDS, momento donde hay el mayor incremento de este elemento en la planta (53%) pero, en esta ocasión no va dirigido al bulbo, más bien a la parte aérea. Lo anterior sugiere la importancia de realizar aplicaciones foliares de este elemento en las etapas de llenado y maduración.



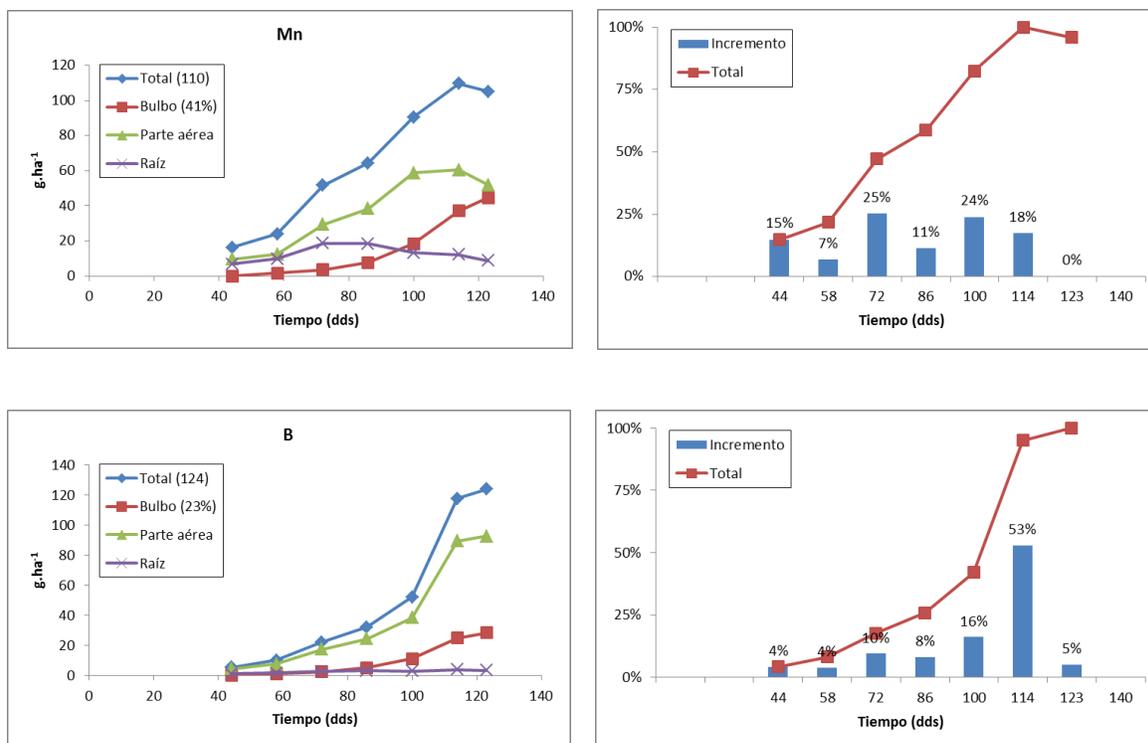


Figura 7. Absorción de micronutrientes por el cultivo de ajo Criollo, Matinilla, Santa Ana.

Las cantidades absorbidas de micronutrientes por el cultivo de ajo Criollo para un rendimiento de $10,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ son: $513 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Fe, $31 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Cu, $81 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Zn, $110 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Mn y $124 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de B. Los requerimientos para producir una tonelada de ajo así como la extracción por la cosecha para producir una tonelada de bulbos se presenta en el cuadro a continuación.

Cuadro 24. Absorción total y por la cosecha del cultivo de ajo Criollo, para producir una tonelada por de plantas y de bulbos.

| Absorción total ($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$) | | | | | Absorción cosecha ($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$) | | | | |
|---|-----|-----|------|------|---|-----|-----|-----|-----|
| Fe | Cu | Zn | Mn | B | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| 48 | 2,9 | 7,5 | 10,2 | 11,6 | 7 | 1,3 | 5,5 | 4,2 | 2,6 |

El Fe es el micronutriente más absorbido por el cultivo del ajo, se debe de considerar que ese elemento se presenta en considerables cantidades en el suelo. En todo caso, en orden decreciente de absorción total de micronutrientes fue; $\text{Fe} > \text{B} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$, mientras que por la cosecha fue; $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Cu}$.

Estos resultados presentan ciertas semejanzas con los obtenidos por Resende et al. (1999), quienes reportan la absorción total de micronutrientes por el cultivo de ajo, del cultivar “Gigante Roxão” en orden decreciente; $\text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$. En ambos casos, se denota que el cultivo del ajo, luego del Fe, el B es el elemento más absorbido. El Cu por su parte, es el que la planta requiere en menor cuantía. En el caso del Mn y Zn, son los únicos

micronutrientes en que se encontraron diferencias con lo reportado por Resende et al. (1999). Por otra parte Campillo y Toro (2002), encontraron resultados que difieren en el orden de absorción de los micronutrientes (Mn>Zn>Cu>B).

La absorción total de micronutrientes fue encabezada por el Fe, seguida por el B, Mn y Zn. En último lugar el Cu, los elementos intermedios (Cu, Zn y Mn) experimentaron ciertas variaciones a través del cultivo.

5.1.2.4.4 PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN

Conociendo la extracción de nutrimentos por el cultivo del ajo, esta se comparó con el programa de fertilización utilizado por el agricultor. A dicho programa se le aplicaron las siguientes eficiencias: 70% para el N, 50% para P y 80% al K. A los restantes nutrimentos se les asignó una eficiencia de 0.9, lo anterior por tratarse de un Inceptisol. Una vez obtenido el resultado ajustado, este se contrastó y se determinaron cuales nutrimentos se colocaron en exceso y cuales por debajo del consumo del cultivo. Como lo muestra el Cuadro 25, donde se aprecia que en el caso del Ca, no hubo un aporte por parte del fertilizante, en su lugar, la absorción de Ca provino del contenido de dicho elemento en el suelo.

Cuadro 25. Comparación de la extracción de nutrimentos por el cultivo, aporte de fertilización y aporte de fertilización ajustado realizado al ajo Criollo.

| Variable | kg.ha ⁻¹ | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-------------|-------------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Zn | B |
| Extracción del cultivo | 83 | 9 | 65 | 36 | 6 | 19 | 0,08 | 0,12 |
| Aporte de fertilización | 122 | 82 | 137 | 0 | 13 | 58 | 1,44 | 0,33 |
| Aporte de fertilización considerando eficiencia | 86 | 41 | 110 | 0 | 12 | 52 | 1,30 | 0,30 |
| Diferencia | 3 | 32 | 45 | -36 | 5 | 33 | 1,22 | 0,18 |

Contando con la información de la extracción de nutrimentos por el ajo Criollo y aplicando las respectivas eficiencias según el elemento, se determinaron las siguientes fuentes y cantidades de fertilizantes. Se debe de mencionar que dichas cantidades pretenden al menos reponer lo que el cultivo extrae, ver Cuadro 26.

Cuadro 26. Tipo y cantidad de fertilizantes a aplicar en el cultivo de ajo Crillo y los respectivos aportes de nutrimentos.

| Nutrimento | Aporte kg.ha ⁻¹ | 16-48-0 | 12-60-0 | 33,5-0-0 | 13-0-44 | 15-0-0+26 CaO | 0-0-0+31 CaO+ 24 S | 0-0-22-18+ 22 S | 0-0-0+14 S+ 28 Zn | 0-52-34 | 17% B |
|---------------------------------|----------------------------|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------|-------------|
| N | 96,396 | 3,7 | 2,2 | 58,3 | 27,4 | 4,8 | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 67,78 | 11,0 | 11,0 | | | | | | | 45,8 | |
| K ₂ O | 172,7 | | | | 92,8 | | | 49,9 | | 29,9 | |
| CaO | 29,4 | | | | | 8,3 | 21,1 | | | | |
| MgO | 40,86 | | | | | | | 40,9 | | | |
| S | 66 | | | | | | 16,3 | 49,9 | 0,1 | | |
| Zn | 0,140 | | | | | | | | 0,1 | | |
| B ₂ O ₃ | 0,680 | | | | | | | | | | 0,7 |
| Cantidad de fertilizante | | 23 kg | 18,3 kg | 174 kg | 211 kg | 32 kg | 68 kg | 227 kg | 0,5 kg | 88 kg | 4 kg |

Luego de integrar la extracción de nutrientes por el cultivo junto con los momentos de máxima absorción y la eficiencia del fertilizante, se diseñó el siguiente programa de fertilización, Cuadro 27.

Cuadro 27. Programa de fertilización para el cultivo de ajo Criollo en Matinilla de Santa Ana.

| Fertilizante | Fórmula | Días despues de la siembra | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------|-----|-----|----|----|----|------|----|----|------|------|------|------|-------|------|------|------|-----|-----|
| | | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 | 105 | 112 | 120 | 127 |
| | | kg.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato diamónico | 16-48-0 | 23,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato monoamónico | 12-60-0 | | 9,2 | 9,2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de amonio | 33,5-0-0 | | | | | | | 87,0 | | | | 87,0 | | | | | | | | |
| Nitrato de potasio | 13-0-44 | | | | | | | 52,8 | | | 52,8 | | | 52,8 | | | | | | |
| Nitrato de calcio | 15-0-0+26 CaO | | | | | | | | | | 10,7 | | 10,7 | | 10,7 | | | | | |
| Sulfato de calcio | 0-0-0+31 CaO+ 24 S | | | | | | | | | | | | | | | 34,0 | 34,0 | | | |
| Sulfato de potasio y magnesio | 0-0-22-18+ 22 S | | | | | | | | | | | | | | 227,0 | | | | | |
| Sulfato de zinc | 0-0-0+14 S+ 28 Zn | | | | | | | | | | | 0,3 | 0,3 | | | | | | | |
| Fosfato monopotásico | 0-52-34 | | | | | | | | | | | | | 44,0 | | | | 44,0 | | |
| Acido bórico | 17% B | | | | | | | | | | | | 2,0 | 2,0 | | | | | | |

Como lo muestra el cuadro anterior, el programa está conformado por fertilización granulada al suelo y vía goteo, fraccionada según los momentos de máxima absorción.

5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN: CEBOLLA

5.2.1 ANÁLISIS DE SUELOS

Al igual que en el sitio donde se sembró el ajo Criollo, el terreno destinado al cultivo de cebolla se muestreó previo a la preparación y transplante. Las características químicas del suelo se presentan en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Análisis de suelos químico del terreno donde se realizó la siembra de la cebolla.

| ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|-------------------------|------|-----|-----|------|-----|--------------------|-----|----|-----|----|
| Solución Extractora: | pH | cmol(+).l ⁻¹ | | | | | % | mg.l ⁻¹ | | | | |
| KCl-Olsen Modificado | H ₂ O | ACIDEZ | Ca | Mg | K | CICE | SA | P | Zn | Cu | Fe | Mn |
| ID USUARIO | 5,5 | 0,5 | 4 | 1 | 0,2 | 5 | | 10 | 3 | 1 | 10 | 5 |
| Lote Cebolla | 6,2 | 0,1 | 10,1 | 2,6 | 0,9 | 13,8 | 1,0 | 92 | 8,8 | 21 | 107 | 21 |

El terreno destinado para la producción de cebolla no exhibe problemas de acidez, debido a que las variables de pH en agua (ligeramente ácido), acidez intercambiable (óptima) y saturación de aluminio (óptima) así lo indican.

El contenido de Ca (10.1 cmol(+).l⁻¹) es óptimo, el Mg (2.6 cmol(+).l⁻¹) medio y el K resultó en un nivel alto (0.9 cmol(+).l⁻¹). A pesar de estos resultados, no se detectaron desbalances en las relaciones entre bases, como lo presenta el siguiente cuadro.

Cuadro 29. Relación entre bases del análisis de suelos del terreno destinado a la siembra de cebolla en la finca de José Sandí Bustamante.

| Relación entre bases | Ca/Mg | Ca/K | Mg/K | Ca+Mg/K |
|-----------------------|-------|------|--------|---------|
| Valores de referencia | 2-5 | 5-25 | 2,5-15 | 10-40 |
| Resultados | 3,8 | 10,8 | 2,8 | 13,6 |

Tomando como referencia la suma de bases (13,3 cmol(+).l⁻¹), el terreno destinado a la producción de cebolla cuenta con una fertilidad alta. El fósforo extraíble se reporta como alto (92 mg.l⁻¹), el Zn (8,8 mg.l⁻¹) óptimo. Por otra parte, el Cu (21 mg.l⁻¹) y el Fe (107 mg.l⁻¹) resultaron altos, mientras que el Mn (21 mg.l⁻¹) registró un contenido óptimo.

5.2.2 CONDICIONES AMBIENTALES Y RENDIMIENTO

Clima: debido que los cultivos del ajo y la cebolla se desarrollaron en sitios similares (Matinilla, 1280 msnm) y bajo las mismas condiciones meteorológicas, el efecto del clima sobre el cultivo es comparable al descrito anteriormente para el ajo Criollo.

Enfermedades y plagas: a nivel foliar alrededor de los 30 DDT se presentó una leve incidencia de *Botrytis squamosa* que fue controlada satisfactoriamente y no significó una variable que afectara al cultivo de cebolla. Las raíces se vieron afectadas por el ataque de Raíz Rosada, causada por el hongo *Pyrenochaeta terrestres*, esto hacia el final del cultivo, sin embargo las medidas de combate aplicadas rindieron resultados satisfactorios sin influir negativamente sobre el rendimiento. Alcanzados los 60 DDT, se identificaron

focos del insecto *Thrips tabaci*, los que no superaron el nivel crítico de 20 larvas por planta, condición que permitió que el control químico ejerciera el efecto esperado, nuevamente sin causar detrimento de la producción.

Rendimiento: la producción obtenida de la cebolla variedad Aquarius fue de 58,6 t.ha⁻¹, superando considerablemente los rendimientos logrados a nivel nacional de las variedades Gladalan Brow (30,8 t.ha⁻¹), Granex 33 (27,0 t.ha⁻¹), Regia (28,7 t.ha⁻¹) y Sonic (24,5 t.ha⁻¹) reportados por Berstch (2003).

5.2.3 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE TEJIDOS

5.2.3.1 GENERALIDADES

Al igual que para el cultivo del ajo Criollo, se determinó la variación que ocurre entre las repeticiones separadas, contrastando con el resultado del laboratorio de la mezcla compuesta. El coeficiente de variación (CV) más alto fue para el Ca (15,71%), mientras que el Fe (2,62%) fue el nutrimento que generó el menor CV en la cebolla Aquarius.

Cuadro 30. Determinación del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación entre las 5 repeticiones de la evaluación final del bulbo de cebolla cultivar Aquarius.

| Identificación | % | | | | | | mg.kg ⁻¹ | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | N | P | Ca | Mg | K | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Bulbo, 120 DDT, R 1 | 0,98 | 0,26 | 0,42 | 0,12 | 1,62 | 0,25 | 26 | 3 | 18 | 16 | 19 |
| Bulbo, 120 DDT, R 2 | 1,22 | 0,23 | 0,55 | 0,14 | 1,61 | 0,31 | 28 | 4 | 18 | 21 | 22 |
| Bulbo, 120 DDT, R 3 | 1,20 | 0,25 | 0,41 | 0,13 | 1,65 | 0,30 | 27 | 4 | 21 | 18 | 19 |
| Bulbo, 120 DDT, R 4 | 1,35 | 0,25 | 0,47 | 0,13 | 1,65 | 0,33 | 27 | 3 | 20 | 17 | 19 |
| Bulbo, 120 DDT, R 5 | 1,44 | 0,24 | 0,58 | 0,14 | 1,90 | 0,37 | 27 | 4 | 23 | 20 | 21 |
| Promedio (X̄) | 1,24 | 0,25 | 0,49 | 0,13 | 1,69 | 0,31 | 27,00 | 3,60 | 20,00 | 18,40 | 20,00 |
| Desviación estándar (DE) | 0,17 | 0,01 | 0,08 | 0,01 | 0,12 | 0,04 | 0,71 | 0,55 | 2,12 | 2,07 | 1,41 |
| Coefficiente de variación (CV) | 14,09 | 4,63 | 15,71 | 6,34 | 7,17 | 14,04 | 2,62 | 15,21 | 10,61 | 11,27 | 7,07 |

A pesar de registrarse coeficientes de variación de mayor magnitud que los determinados en el ajo Criollo, las diferencias entre los promedios y los resultados de la muestra compuesta son leves.

Cuadro 31. Comparación de los promedios de cada nutrimento procedente de las 5 repeticiones, con el resultado de la muestra compuesta de la evaluación final del bulbo de cebolla Aquarius.

| Identificación | % | | | | | | mg.kg ⁻¹ | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|---------------------|----|----|----|----|
| | N | P | Ca | Mg | K | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Promedio (X̄) | 1,24 | 0,25 | 0,49 | 0,13 | 1,69 | 0,31 | 27 | 4 | 20 | 18 | 20 |
| Bulbo, 120 DDT, muestra combinada* | 1,26 | 0,25 | 0,45 | 0,13 | 1,68 | 0,31 | 26 | 3 | 20 | 17 | 20 |

En la variedad de cebolla amarilla cv. Aquarius; la parte aérea presentó el valor más elevado de peso fresco (93,2%), muy similar al de las raíces (92,8%) y en último lugar el bulbo (61,9%).

5.2.3.2 CONCENTRACIÓN DE NUTRIMENTOS

La concentración de nutrientes de la cebolla puede variar con la variedad, el ambiente, la edad del cultivo y el tipo de tejido analizado (follaje, raíces o bulbos).

•**Efecto de edad del cultivo:** las concentraciones de los nutrientes N, P, K, Mg, S, Zn y Mn disminuyeron conforme avanzó la edad del cultivo. El Fe disminuyó en el bulbo, sin embargo experimentó un aumento en parte aérea y raíz. En cuanto al B, este disminuyó en hojas pero se mantuvo igual en el bulbo y las raíces.

•**Efecto de tipo de tejido:** las concentraciones de elementos mayores y secundarios en orden decreciente, según el órgano de la planta es el siguiente:

Parte aérea: K>N>Ca>P>S>Mg

Raíces: K>P>N>Ca>S>Mg

Bulbo: K>N>Ca>P>S>Mg

En el caso de los elementos menores fue la siguiente:

Parte aérea: Fe>Mn>Zn>B>Cu

Raíces: Fe>Mn>Zn>Cu>B

Bulbo: Fe>Zn>B>Mn>Cu

Las mayores concentraciones de N, Ca, y B se registraron en la parte aérea. El Mg se concentró en igual magnitud en el follaje como en el bulbo. Las raíces presentaron las concentraciones más elevadas de P, K, S, Fe, Cu, Zn y Mn.

Sin considerar el órgano, el K es el nutriente que más se concentró en los tejidos de la cebolla (1,54-6,82 %), seguido por el N (1,02-3,99 %) y el P (0,18-3,96 %). El Ca es el elemento secundario más concentrado (0,45-2,79 %), luego el S y posteriormente el Mg (0,21-0,49 %). Con respecto a los micronutrientes, el Fe (23-3370 mg.kg⁻¹) fue el de mayor concentración en la planta, seguido por Mn, Zn, Cu y en el último lugar B (14-42 mg.kg⁻¹).

A continuación se presentan los rangos de concentración de nutrientes completado todo el ciclo de cultivo de cebolla, esto considerando los valores máximos y mínimos.

Cuadro 32. Rangos de concentraciones de los elementos en los diferentes tejidos de cebolla cultivar Aquarius.

| Unidad | Elemento | Bulbo | Parte aérea | Raíz |
|---------------------|----------|-----------|-------------|------------|
| % | N | 1,02-3,70 | 2,21-3,99 | 1,92-3,88 |
| | P | 0,23-0,52 | 0,18-1,03 | 0,23-3,96 |
| | K | 1,54-3,99 | 3,65-5,74 | 2,72-6,82 |
| | Ca | 0,45-1,00 | 0,95-2,79 | 0,61-1,75 |
| | Mg | 0,23-0,49 | 0,23-0,49 | 0,21-0,34 |
| | S | 0,28-0,46 | 0,32-0,54 | 0,35-0,62 |
| mg.kg ⁻¹ | Fe | 23-106 | 67-367 | 1336- 3370 |
| | Cu | 3-9 | 3-6 | 11-56 |
| | Zn | 20-43 | 14-46 | 38-79 |
| | Mn | 17-21 | 41-83 | 99-171 |
| | B | 16-24 | 14-42 | 22-33 |

Comparando los resultados obtenidos de la variedad Aquarius, con los presentados por Bertsch (2003), en lo que respecta a concentración de macro y micronutrientes de las variedades Gladalan Brown, Granex 33, Regia y Sonic, coinciden en todos los casos en que la parte aérea concentró las mayores cantidades de N, Ca y Mg. La raíz por otra parte, registro la mayor concentración de K, S, Cu y Mn. Con respecto al Fe, Zn y B, las concentraciones halladas en la cebolla Aquarius, fueron distintas a lo descrito por Bertsch (2003).

5.2.3.3 CURVAS DE CRECIMIENTO

•**Efecto de edad del cultivo:** en las etapas iniciales, el cultivo de cebolla se concentra en la producción de raíces y follaje, condición que varía a partir de los 60 DDT donde se da el inicio de la formación del bulbo, evento que influye en el movimiento y acumulación de nutrimentos en los órganos. Posterior a los 75 DDT inician las translocaciones desde raíces y parte aérea hacia el bulbo.

•**Efecto de tipo de tejido:** la parte aérea es el órgano que concentra el mayor crecimiento en las etapas iniciales del cultivo. Posteriormente a partir de los 60 DDT el bulbo asume protagonismo y muestra incrementos significativos en aumento de peso seco. Luego de los 75 DDT, se registró un incremento en la acumulación del bulbo y lo opuesto en la parte aérea. El mayor incremento ocurre a los 120 DDT y este sucede exclusivamente en el órgano de acumulación de la planta, el bulbo.

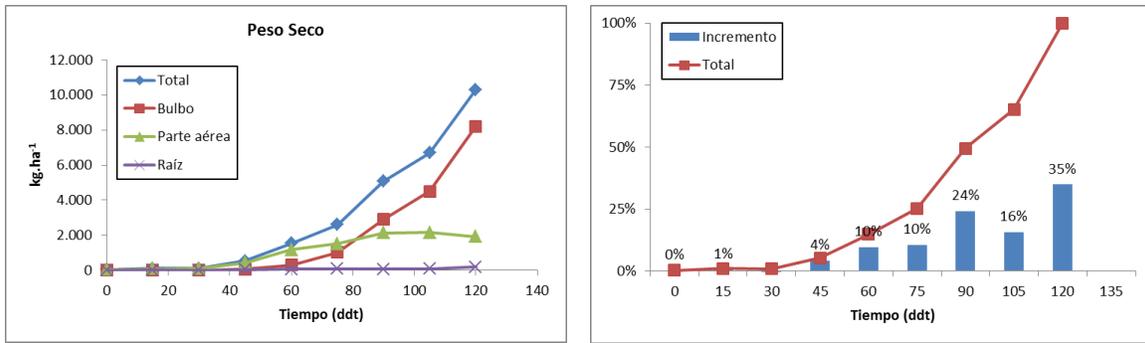


Figura 8. Curva de crecimiento total de la cebolla cultivar Aquarius, Matinilla, Santa Ana.

La acumulación de peso seco total inicia cuando el cultivo ha alcanzado un 25% de ciclo, mientras que en el bulbo esto ocurre prácticamente a la mitad del ciclo (50%). La mitad de la acumulación de peso seco en el bulbo es tardíamente, alrededor de transcurrido un 90% de cultivo, alcanzando el máximo completamente al final del ciclo, Figura 9.

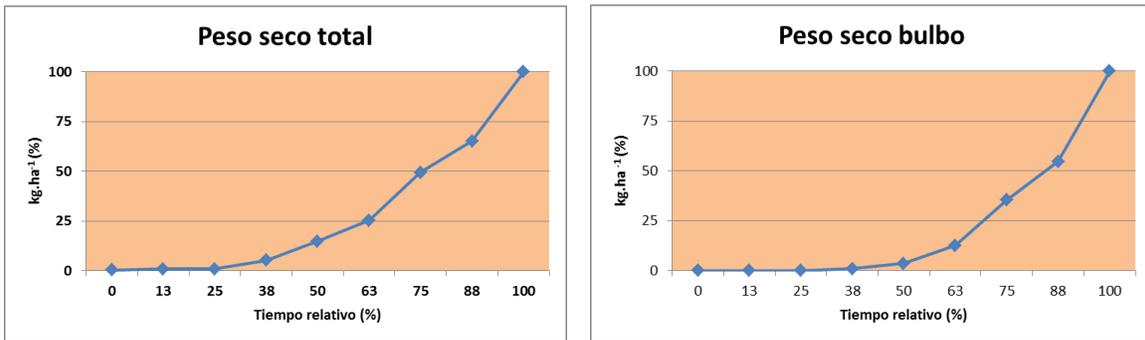


Figura 9. Comparación del ciclo de crecimiento del cultivar Aquarius (transformando el tiempo en %) y del ciclo de formación del bulbo.

5.2.2.4 CURVAS DE ABSORCIÓN

5.2.2.4.1 ABSORCIÓN DE MACROELEMENTOS: N, P y K.

Nitrógeno

La parte aérea es el órgano que inicialmente absorbe más nitrógeno, condición que se mantiene la mayor parte del cultivo. El bulbo a partir de los 45 DDT, inicia con incrementos de absorción de N, siendo más intensos luego de los 90 DDT. Al ser un elemento móvil, ocurre translocación desde el follaje hasta el órgano de almacenamiento a los 105 DDT, momento en el que la absorción de la parte aérea decrece y paralelamente aumenta la del bulbo. El mayor incremento de absorción de N es a los 120 DDT (30%). De 149 kg de N absorbidos por hectárea, un 69% los extrae la parte cosechada y el resto corresponde a la absorción de las raíces y follaje.

Fósforo

La absorción de P inicia desde el transplante, siendo la parte aérea el órgano con mayor magnitud hasta los 95 DDT, momento donde el follaje pasa a un segundo lugar y el

bulbo lidera la extracción de este elemento, representando un 84% del total absorbido. Los incrementos más significativos se dan a los 90 y 120 DDT, situación que coincide con la etapa de bulbificación y llenado de este órgano. Nuevamente se registra translocación del follaje, hacia el bulbo, ya que la curva de absorción del follaje decrece al mismo tiempo en que crece la del bulbo.

Potasio

Hasta los 105 DDT, la parte aérea absorbe más K que el resto de la planta, luego de esto, el bulbo se convierte en el órgano más extractor, muy superior que las raíces y más que las hojas. La cosecha extrae una considerable cantidad de K (65%). Al igual que el N y P, al ser el K un elemento móvil dentro de la planta, hay translocación desde la parte aérea hasta el bulbo. Los incrementos más sobresalientes son a los 60 DDT y 120 DDT.

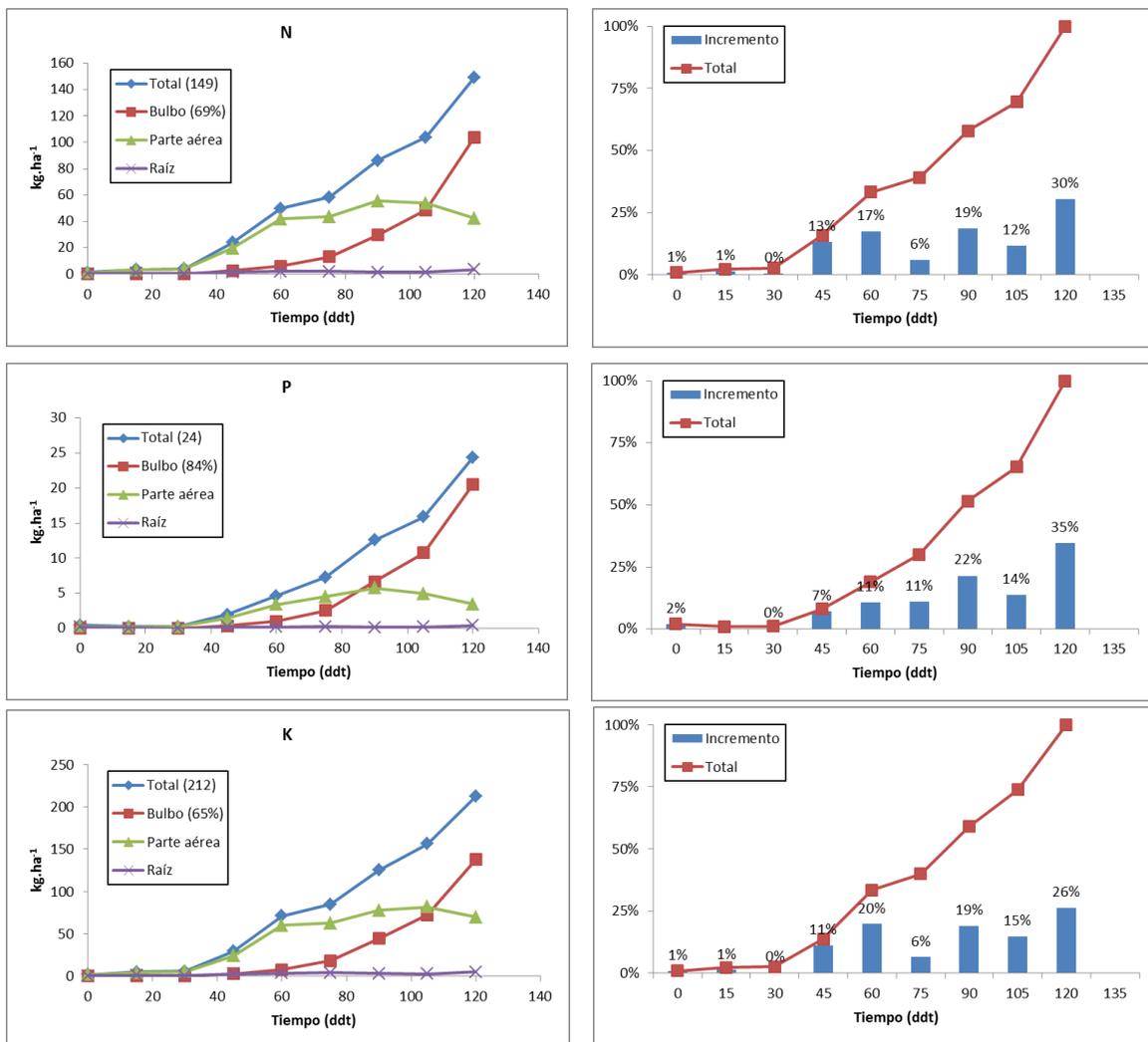


Figura 10. Absorción de macronutrientes por el cultivo de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

Indistintamente del órgano de la planta, la variedad Aquarius absorbió considerablemente en primer lugar más K y N que P. Lo anterior se mantuvo durante todo el ciclo, demostrándose así cual macroelemento es más absorbido por la cebolla y que los tres nutrientes se absorben durante todo el cultivo, aclarando sí, que con ritmos diferentes. Es válido destacar que comparativamente, el mayor incremento en la absorción de P ocurre aproximadamente en el último cuarto del ciclo de cultivo y no a inicios del mismo.

Los macronutrientes N y K, aparte de ser móviles dentro de la planta y ser también los más absorbidos por el cultivo, presentan un comportamiento similar de las respectivas curvas de absorción total relativas. Por otra parte el P se consume en mayores proporciones hacia el final del cultivo, registrándose al inicio absorciones de baja magnitud.

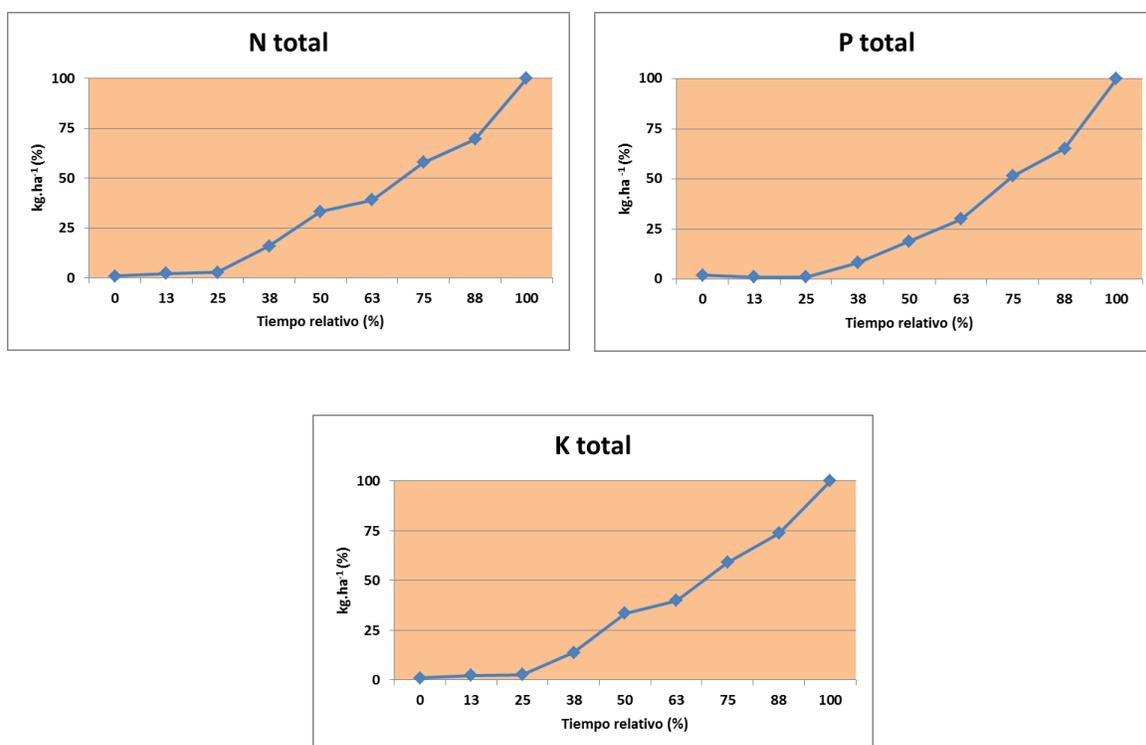


Figura 11. Absorción relativa de N, P y K por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

Sin considerar el tipo de órgano de la planta, en total, el macronutriente más absorbido es el K, seguido del N. El P manifestó la menor absorción en este grupo de nutrientes, incrementándose su consumo más intensamente hacia finales del ciclo.

Tanto la absorción total de macroelementos, como la absorción por parte de la cosecha para producir una tonelada de bulbos comparten la misma tendencia, dado que en ambos casos el elemento más absorbido es el K, seguido por el N y P en el último lugar.

Cuadro 33. Cantidad en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P y K absorbidos por el cultivar de cebolla Aquarius para producir 1 t de bulbos.

| Variedad | Absorción total ($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$) | | | Absorción cosecha ($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$) | | |
|----------|--|-----|-----|--|-----|-----|
| | N | P | K | N | P | K |
| Aquarius | 2,5 | 0,4 | 3,6 | 1,8 | 0,3 | 2,3 |

Esta información coincide con lo reportado para la cebolla Regia (Bertsch 2003), lo que sugiere la posibilidad, de que tanto dicho cultivar como Aquarius sean materiales más exigentes en K que otros que se cultivan en el país, que registran una mayor absorción de N sobre la del K.

5.2.2.4.2 ABSORCIÓN DE ELEMENTOS SECUNDARIOS: Ca, Mg y S.

En todas las etapas fenológicas de la cebolla, posterior al transplante, hay más absorción de Ca por el follaje, que por los otros órganos. De $93 \text{ kg de Ca}\cdot\text{ha}^{-1}$, un 40% es extraído por la cosecha. Como sucede con otros elementos inmóviles dentro de la planta, no hubo translocación del follaje al órgano de almacenamiento, sin embargo, este último sostiene la absorción de Ca hasta la etapa de maduración del bulbo previo a la cosecha. A partir de los 60 DDT hay incrementos considerables dentro de los tejidos, siendo a los 90 DDT (alrededor de los 3 meses) y 105 DDT los momentos de mayor incremento de absorción.

Magnesio

En el caso del Mg, nuevamente es la parte aérea la que lo absorbe primero y en mayor magnitud, esto hasta los 105 DDT, ya que a partir de esa edad, disminuye la absorción por parte de las hojas y simultáneamente se registra un aumento en la absorción de Mg en los tejidos del bulbo. Del total extraído por el cultivo, la cosecha absorbe un 59%, reflejando lo anterior la importancia de este nutrimento para la cebolla.

Los mayores incrementos en absorción de Mg son en el último cuarto del cultivo, a los 90 DDT (21%), 105 DDT (22%) y 120 DDT (23%). Los datos generados son de suma importancia, pues refuerzan el criterio de realizar aplicaciones tanto de Ca como de Mg aún en etapas avanzadas del cultivo de cebolla.

Azufre

El comportamiento del S dentro de la planta, similar al Mg, al inicio es la parte aérea la que lo absorbe más, e igualmente experimenta una translocación de las hojas hacia el bulbo, con la diferencia que esto ocurre más temprano, a los 90 DDT, a partir de donde la absorción por parte del órgano de almacenamiento atraviesa por los mayores y más bruscos incrementos. El S es el elemento secundario relativamente más absorbido por el bulbo y por ende, extraído por la cosecha con un 79%.

A los 90 DDT hubo un incremento del 21% y finalmente en plena etapa de maduración del bulbo, próximo a cosecha se registra el mayor incremento en absorción de este elemento, un 35% del total.

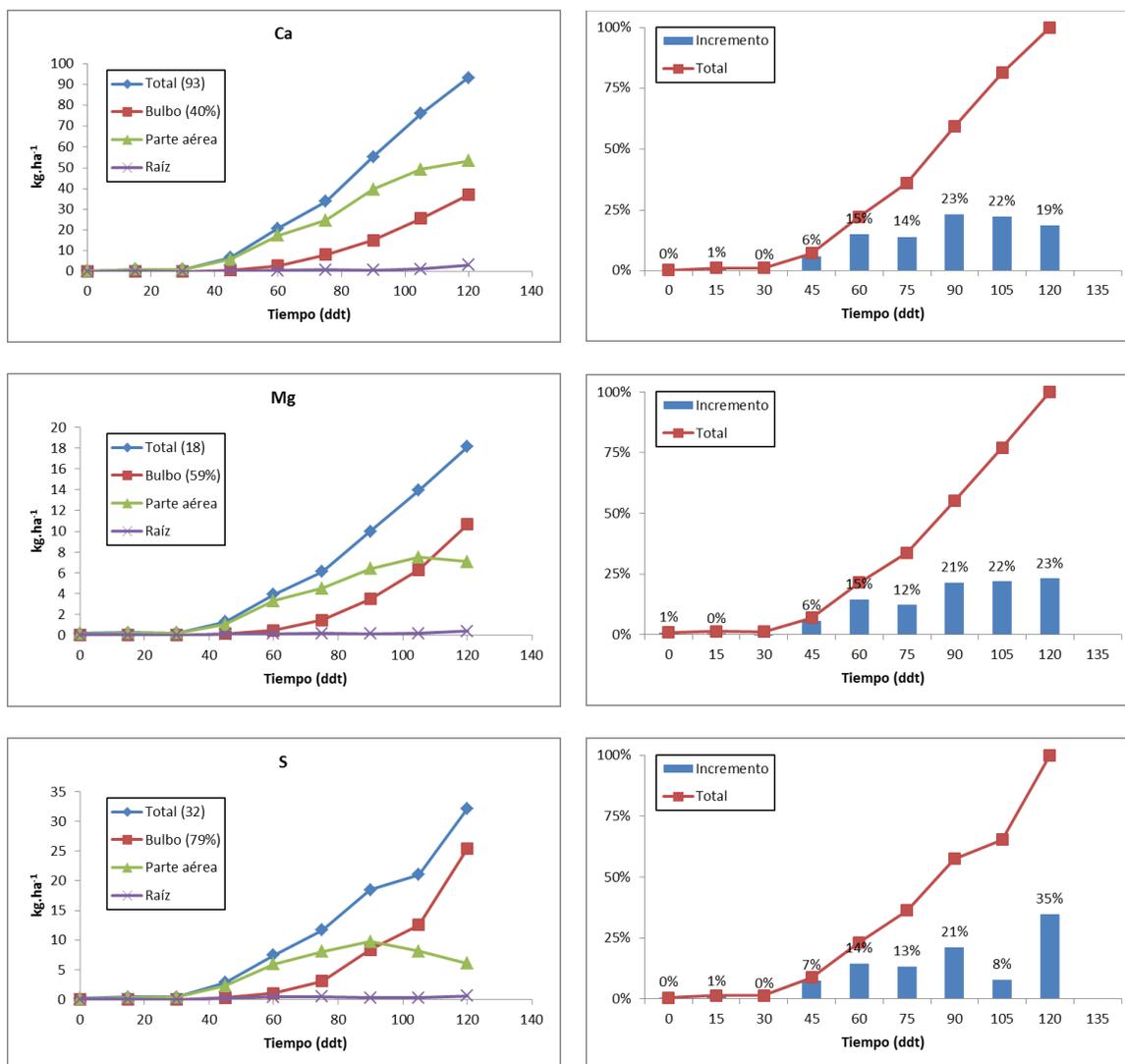


Figura 12. Absorción de elementos secundarios por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

La absorción total relativa del Ca y Mg son muy semejantes en tiempo, magnitud y comportamiento; en ambos casos la absorción se mantiene hasta el final del ciclo y con incrementos de mayor intensidad, con un crecimiento no abrupto. La principal diferencia entre la absorción entre estos elementos y el S, es que este exhibe el incremento de mayor magnitud en la etapa final del cultivo.

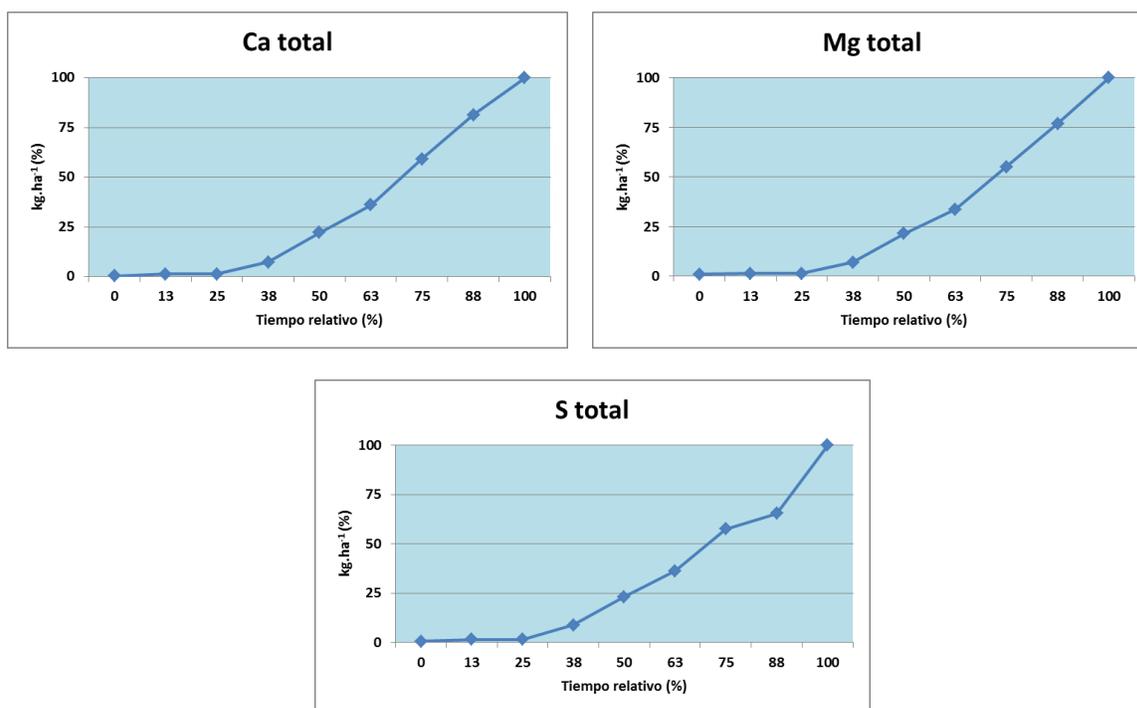


Figura 13. Absorción relativa de elementos secundarios por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

En términos totales, sin referirse a algún órgano de la planta en específico, el orden decreciente de absorción de los elementos secundarios es Ca, S y en menor grado Mg. El Ca supera considerablemente a los otros dos, elevando su consumo más intensamente, inclusive en las últimas etapas fenológicas del cultivo de cebolla variedad Aquarius.

Proporcionalmente, tanto la absorción total como la extracción de elementos secundarios por la cebolla Aquarius, mantiene un mismo orden; en primer lugar Ca, luego S y por último Mg, esto en términos de kg.t⁻¹.

Cuadro 34. Cantidad en kg.ha⁻¹ de Ca, Mg y S absorbidos por el cultivar de cebolla Aquarius, para producir 1 t de bulbos.

| Variedad | Absorción total (kg.t ⁻¹) | | | Absorción cosecha (kg.t ⁻¹) | | |
|----------|--|-----|-----|--|-----|-----|
| | Ca | Mg | S | Ca | Mg | S |
| Aquarius | 1,6 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,2 | 0,4 |

5.2.3.4.3 ABSORCIÓN DE MICROELEMENTOS: Fe, Cu, Zn, Mn y B.

Hierro

De los 0 hasta los 45 DDT, la raíz es el órgano que presenta la mayor absorción de Fe, posteriormente y hasta el final de ciclo, el follaje se convierte en el principal consumidor de dicho nutrimento. El bulbo absorbe únicamente un 30% del total consumido por el cultivo, valor muy similar el extraído por hojas y raíces. Siguiendo los aumentos de absorción de Fe a través del tiempo, se destaca un comportamiento bastante irregular, ocurriendo incrementos significativos a los 45 DDT y 60 DDT, y luego nuevamente a los 105 DDT y 120 DDT.

Cobre

Equivalente a lo descrito para otros elementos, previo a los 90 DDT el follaje absorbe más Cu que los demás órganos, posterior a eso; es el bulbo quien domina la extracción de este elemento en la planta. Al ser de mediana movilidad, tiene la posibilidad de movilizarse internamente, lo que queda de manifiesto al ocurrir nuevamente translocación desde la parte aérea hacia el bulbo, el que extrae 63% del total absorbido. En relación a este elemento, la raíz continúa absorbiendo considerables cantidades de Cu, inclusive en las etapas finales del cultivo. Al igual que el S, en este caso el Cu experimenta el mayor incremento en la etapa de maduración del bulbo, previo a cosecha.

Zinc

La mediana movilidad del Zn dentro de la cebolla, de forma temprana comparativamente, le faculta poder translocarse desde el follaje hacia el bulbo; de hecho es el micronutriente que se moviliza de esa manera, tan prontamente. Esta información se debe de considerar para el manejo nutritivo, dado que conociendo la importancia de este elemento y los momentos de absorción, los aportes de Zn al cultivo se deben de efectuar en las primeras etapas y no esperarse hasta el final del ciclo.

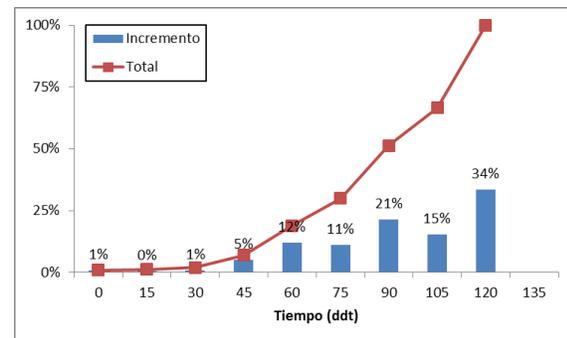
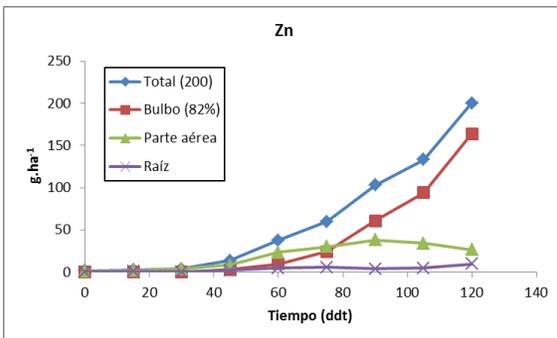
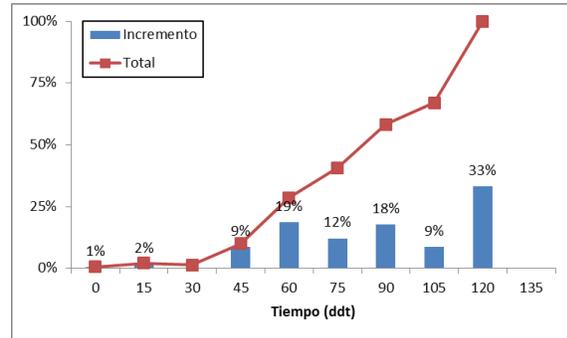
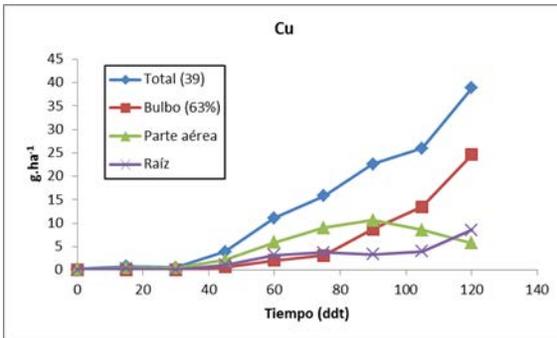
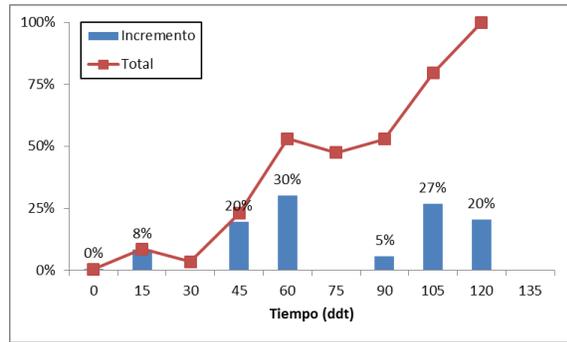
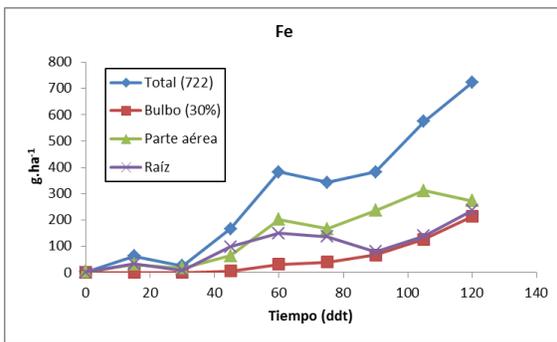
Manganeso

Durante la mayor parte del ciclo, la parte aérea absorbe más Mn que los demás órganos, situación que varía a partir de los 105 DDT, donde el bulbo lidera la absorción final en etapa de maduración y extrae un 56% del total absorbido.

A los 105 DDT se aprecia un descenso en la absorción de Mn por parte del follaje y simultáneamente un incremento del consumo de este elemento por el bulbo. Conociendo su escasa movilidad dentro de los tejidos, se deduce que lejos de tratarse del fenómeno de translocación de nutrientes del follaje al bulbo, lo que acontece es que al ir muriendo algunas de las hojas más adultas (bajeras), las que contienen Mn pero no lo translocan, necesariamente disminuye el volumen de planta que absorbe dicho elemento. El órgano de almacenamiento sostiene la absorción del Mn hasta el final del ciclo, factor a considerar en el manejo nutricional, ya que aportes de este elemento avanzado el desarrollo del cultivo, son aprovechados por el bulbo. A partir de los 45 DDT se dan los incrementos graduales en absorción de Mn, siendo a los 90 DDT donde se registra el mayor de estos (21%).

Boro

En el caso del B, presenta un comportamiento similar al del Mn, con respecto al descenso de absorción por la parte aérea, simultáneamente al incremento en el consumo por parte del bulbo, esto ocurre a los 90 DDT. Al igual que el Mn, el B es clasificado como un elemento inmóvil dentro de los tejidos, por lo que el aumento en la absorción de B por el bulbo puede deberse a extracción desde el suelo o por la aplicación de dicho elemento foliarmente. Los incrementos de absorción de mayor magnitud ocurrieron a los 75 DDT, 90 DDT y 120 DDT, siendo en este último donde el incremento es más elevado (26%).



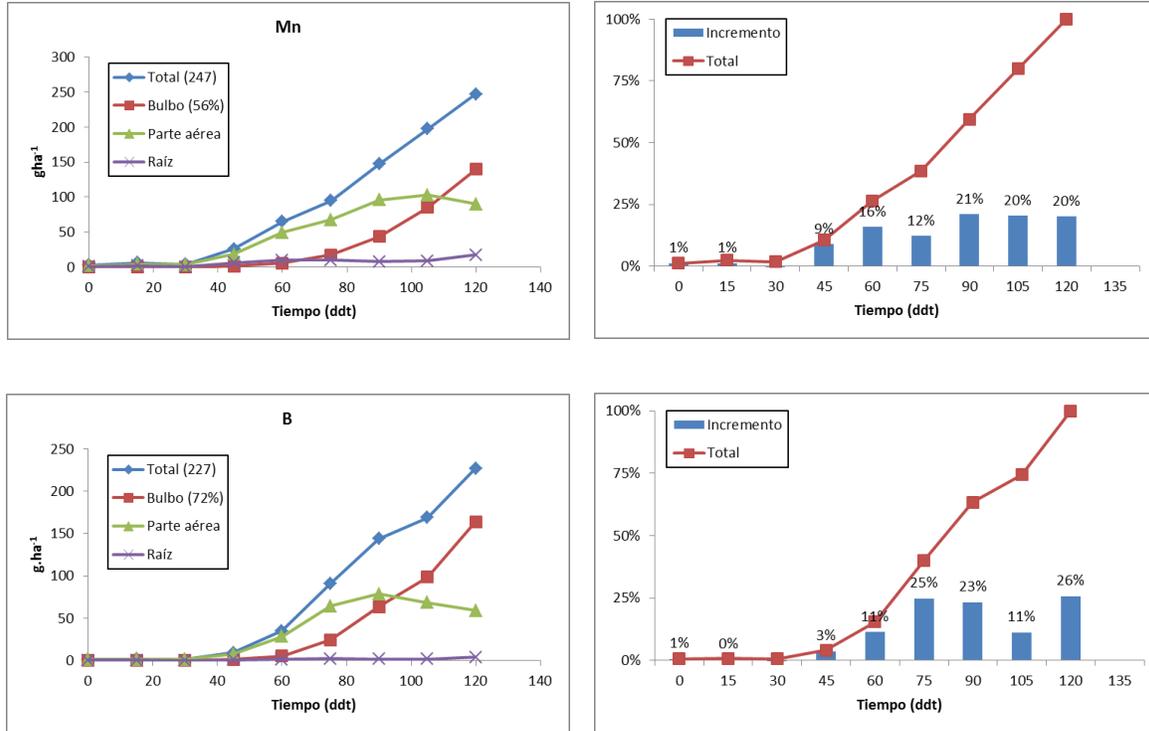


Figura 14. Absorción de microelementos por el cultivar de cebolla Aquarius, Matinilla, Santa Ana, 2011-2012.

Para producir una tonelada de bulbos, se requieren 3,6 g de Fe, 2,8 g de Zn y B, por último 0,4g de Cu.

Cuadro 35. Cantidad en g.ha⁻¹ de Fe, Cu, Zn, Mn y B, absorbidos por el cultivar de cebolla Aquarius para producir 1 t de bulbos.

| Variedad | Absorción total (g.t ⁻¹) | | | | | Absorción cosecha (g.t ⁻¹) | | | | |
|----------|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|
| | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Aquarius | 12,3 | 0,7 | 3,4 | 4,2 | 3,9 | 3,6 | 0,4 | 2,8 | 2,4 | 2,8 |

Si consideramos todos los órganos de la planta de cebolla, el cv Aquarius absorbe más Fe, luego en orden decreciente; Mn>B>Zn y Cu. Estrictamente por la cosecha, de mayor a menor extracción varía; Fe>Zn=B>Mn> Cu. En relación al Cu, en ambos casos es el micronutriente absorbido en menor cantidad en el cultivar Aquarius.

Comparado con los resultados de curvas de absorción de micronutrientes en diferentes variedades de cebolla (Bertsch, 2003), en el cultivar Aquarius también el Fe es el nutrimento más absorbido, mientras que el Cu el menos consumido. Lo anterior tanto para la absorción total como estrictamente por la cosecha. En este sentido, la variedad Regia registro el mismo orden decreciente de absorción por la cosecha Fe, Zn, B, Mn, Cu.

5.2.3.4.4 PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN

Conociendo la extracción de nutrimentos por el cultivo de la cebolla cv. Aquarius, esta se comparó con el programa de fertilización utilizado por el productor. A dicho programa se le aplicaron las siguientes eficiencias: 70% para el N, 50% para P y 80% al K. A los restantes nutrimentos se les asignó una eficiencia del 90%, lo anterior por tratarse de un inceptisol. Una vez obtenido el resultado ajustado, este se contrastó y se determinaron cuales nutrimentos se colocaron en exceso y cuales por debajo del consumo del cultivo.

En el Cuadro 36, se aprecia que los aportes de N, K y Ca proporcionados por la fertilización fueron insuficientes para compensar la extracción total del cultivo, lo que sugiere que el resto de dichos nutrimentos los provee el suelo. En el caso del P sucede lo contrario, ya que se agrega más de lo que consume la cebolla.

Cuadro 36. Comparación de la extracción de nutrimentos realizado por la cebolla cv. Aquarius, el aporte de fertilización y el aporte de fertilización ajustado.

| Variable | kg.ha ⁻¹ | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------|------------|------------|----------|----------|-------------|-------------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Zn | B |
| Extracción del cultivo | 149 | 24 | 212 | 93 | 18 | 32 | 0,20 | 0,23 |
| Aporte de fertilización | 139 | 93 | 152 | 0 | 25 | 41 | 0,27 | 1,46 |
| Aporte de fertilización considerando eficiencia | 109 | 76 | 118 | 0 | 23 | 36 | 0,24 | 1,31 |
| Diferencia | -40 | 51 | -94 | -93 | 4 | 4 | 0,04 | 1,08 |

Con la información de extracción de nutrimentos por la cebolla cv. Aquarius y aplicando las respectivas eficiencias según el elemento, se determinaron las siguientes fuentes y cantidades de fertilizantes. Al igual que en el cultivo del ajo Criollo, en cebolla las cantidades indicadas pretenden al menos reponer lo que el cultivo extrae, ver Cuadro 37.

Cuadro 37. Tipo y cantidad de fertilizantes a aplicar por hectárea en el cultivo de cebolla cv. Aquarius y los respectivos aportes de nutrimentos.

| Nutrimento | Aporte kg.ha ⁻¹ | 16-48-0 | 12-60-0 | 33,5-0-0 | 13-0-44 | 15-0-0+26 CaO | 0-0-0+31 CaO+ 24 S | 0-0-22-18+ 22 S | 0-0-0+14 S+ 28 Zn | 0-52-34 | 17% B |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------|-------------|
| N | 191,61 | 10,0 | 6,0 | 67,0 | 28,2 | 80,4 | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 105,76 | 30,0 | 30,0 | | | | | | | 45,8 | |
| K ₂ O | 290,4 | | | | 95,5 | | | 165,0 | | 29,9 | |
| CaO | 195,78 | | | | | 139,4 | 56,4 | | | | |
| MgO | 135 | | | | | | | 135,0 | | | |
| S | 209 | | | | | | 43,7 | 165,0 | 0,1 | | |
| Zn | 0,280 | | | | | | | | 0,3 | | |
| B ₂ O ₃ | 0,680 | | | | | | | | | | 0,7 |
| Cantidad de fertilizante | | 62,5 kg | 50 kg | 200 kg | 217 kg | 536 kg | 182 kg | 750 kg | 1 kg | 88 kg | 4 kg |

Luego de relacionar la extracción de nutrimentos por el cultivo junto con los momentos de máxima absorción y la eficiencia del fertilizante, se diseñó el siguiente programa de fertilización, Cuadro 38.

Cuadro 38. Programa de fertilización para el cultivo de cebolla cv. Aquarius, en Matinilla de Santa Ana.

| Fertilizante | Fórmula | Días después del trasplante | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|------|------|----|------|------|----|-------|-------|-----|----|-------|------|------|-------|------|-------|------|
| | | 0 | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63 | 70 | 77 | 84 | 91 | 98 | 105 | 112 | 120 |
| | | kg.ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato diamónico | 16-48-0 | 62,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato monoamónico | 12-60-0 | | 25,0 | 25,0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de amonio | 33,5-0-0 | | | | | 66,7 | | | 66,7 | | | | | 66,7 | | | | | |
| Nitrato de potasio | 13-0-44 | | | | | | 72,3 | | 72,3 | | | | | 72,3 | | | | | |
| Nitrato de calcio | 15-0-0+26 CaO | | | | | | | | 134,0 | 134,0 | | | 134,0 | | | 134,0 | | | |
| Sulfato de calcio | 0-0-0+31 CaO+ 24 S | | | | | | | | 60,7 | | | | 60,7 | | | | | | 60,7 |
| Sulfato de potasio y magnesio | 0-0-22-18+ 22 S | | | | | | | | | | | | 375,0 | | | | | 375,0 | |
| Sulfato de zinc | 0-0-0+14 S+ 28 Zn | | | | | | | | 0,3 | | | | | | 0,3 | | | | 0,3 |
| Fosfato monopotásico | 0-52-34 | | | | | | | | | | | | | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | | |
| Ácido bórico | 17% B | | | | | | | | 1,3 | | 1,3 | | | | | 1,3 | | | |

Como lo muestra el cuadro anterior, el programa está conformado por fertilización granulada al suelo y vía goteo, fraccionada según los momentos de máxima absorción del cultivo.

6. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES AJO

- 1- El periodo de crecimiento del ajo Criollo fue de 123 días, presentando el mayor incremento en la acumulación de peso seco a los 114 DDS. El período de mayor acumulación de materia en el bulbo ocurre a los 100 DDS y 114 DDS, coincidiendo con la etapa de maduración de este órgano.
- 2- N es el elemento mayor más absorbido por el ajo, seguido por el K y por último el P, cuyos requerimientos son considerablemente menores.
- 3- La movilidad dentro de la planta de los tres macronutrientes (N, P y K) quedó comprobada, al ser estos traslocados de la parte aérea hacia los bulbos en diferentes momentos del cultivo. Lo mismo ocurrió con el Zn y S.
- 4- K es el macroelemento que se absorbe más pronto, seguido por el N, mientras que el P se absorbe inclusive hasta el final del cultivo. La absorción de macronutrientes por la cosecha, mantiene la misma proporción registrada en la absorción total. En orden decreciente de nuevo fue $N > K > P$.
- 5- El Ca ($36 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) es el elemento secundario más absorbido por el cultivo del ajo, este seguido por el S ($19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y por último el Mg ($6.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Este mismo orden se mantuvo a lo largo del ciclo. La mayor porción del Ca y Mg se acumulan en la parte aérea, mientras que un 80% de S absorbido se acumuló en el bulbo.
- 6- El orden decreciente de absorción total de micronutrientes fue; $\text{Fe} > \text{B} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$, mientras que por la cosecha fue; $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Cu}$. El micronutriente con mayor acumulación relativa por los bulbos fue el S (73%). El Fe a pesar de ser el micronutriente más absorbido por el cultivo, fue el que se acumuló menos en el bulbo (13% del total absorbido).
- 7- El programa de fertilización utilizado por el productor no aportó Ca al suelo.

6.2 CONCLUSIONES CEBOLLA

1. El periodo de crecimiento de la cebolla cv Aquarius fue de 120 días, esta presentó un incremento considerable en peso seco a los 90 DDT, no obstante la mayor acumulación ocurrió al final del cultivo en la etapa de maduración del bulbo.
2. Indistintamente del órgano de la planta, la variedad Aquarius absorbió considerablemente en primer lugar más K y N que P, tendencia que se mantuvo durante todo el ciclo. El mayor incremento en la absorción de P ocurre aproximadamente en el último cuarto del ciclo de cultivo y no a inicios del mismo.
3. La absorción total de macroelementos, como la absorción por parte de la cosecha para producir una tonelada de bulbos comparten la misma tendencia, dado que en ambos casos el elemento más absorbido es el K, seguido por el N y por último el P. Los tres nutrientes experimentaron una translocación de la parte aérea hacia el bulbo.
4. En todas las etapas fenológicas de la cebolla, posterior al transplante, hay una mayor absorción de Ca por el follaje, que por los otros órganos. Como sucede con otros elementos inmóviles dentro de la planta, no hubo translocación de follaje al órgano de almacenamiento, sin embargo, este último sostiene la acumulación de Ca hasta la etapa de maduración del bulbo previo a la cosecha.
5. Porcentualmente, el S fue el elemento secundario más acumulado en el bulbo (79%), seguido por el Mg (59%). En el caso del Ca para esta variable fue de 40%.
6. En términos totales, indiferentemente del órgano de la planta, el orden decreciente de absorción de los elementos secundarios es, Ca, S y en menor grado Mg. El Ca supera considerablemente a los otros dos, elevando su consumo más intensamente, inclusive en las últimas etapas fenológicas del cultivo de la cebolla variedad Aquarius.
7. El Zn presentó el mayor incremento de absorción en la etapa de maduración, ocasionando la mayor absorción relativa de micronutrientes por el bulbo (82%).
8. El cv Aquarius absorbe más Fe, luego en orden decreciente; $Mn > B > Zn$ y Cu. Estrictamente por la cosecha, de mayor a menor extracción varía; $Fe > Zn = B > Mn > Cu$. En relación al Cu, en ambos casos es el micronutriente absorbido en menor cantidad por la cebolla cv Aquarius.
9. En contraste con la absorción total de nutrientes en términos de $kg.t^{-1}$ de las variedades de cebolla estudiadas por Bertsch (2003); el cv Aquarius consume menos N y Fe pero, más K y Ca.

7. RECOMENDACIONES AJO Y CEBOLLA

1. Debido a la fluctuación del clima de un año a otro y su consecuente influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, es conveniente generar nuevamente las curvas de crecimiento y absorción para el cultivo de ajo y cebolla, con el fin de diagnosticar su desempeño en diferentes condiciones. Esto en al menos dos localidades con de distinta agroecología.
2. Se recomienda realizar un experimento de dosis crecientes de N, K y S, para determinar su efecto sobre el rendimiento y calidad de la cosecha de ajo y cebolla.
3. Es conveniente confeccionar curvas de crecimiento y absorción de las variedades de cebolla más utilizadas por los productores del cantón de Santa Ana para afinar la dosificación y momento de aplicación de nutrimentos.

8. LITERATURA CONSULTADA

- ALCÁNTAR G., TREJO L., FERNÁNDEZ L. y RODRÍGUEZ M. 2007. Elementos esenciales, pp. 8-47. *In:* G. Alcántar y L. Trejo (eds). Nutrición de cultivos. Mundi-Prensa.
- ÁLVAREZ O. 2011. Productor de ajo y cebolla. Santa Ana. Costa Rica. Comunicación personal.
- ARAYA G. 2012. Manual de recomendaciones para el cultivo de cebolla. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agrícola (INTA). San José, Costa Rica. 27p.
- BEJO Z. 2012. Enfermedades y plagas importantes en cebollas. Folleto técnico. Warmerhuizen, Holanda. 35 p.
- BERTSCH F. 1998. La Fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José. Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. San José, Costa Rica. ACCS. 307 p.
- BERTSCH F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas* 57: 1-10. (Consultada 8-2012).
[http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/\\$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf)
- BLACK L., CONN K., GABOR B., KAO J. y LUTTON J. 2012. Onion disease guide. *Seminis Vegetable Seeds*. (Consultada: 11-2012).
<http://www.seminis.com/SiteCollectionDocuments/Onion-Disease-Guide.PDF>
- BOLAÑOS A. 1991. Cebolla, pp. 313-321. *In:* E. Vargas (ed). Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. MAG.
- BURBA J. 2003. Producción de ajo. Documento 069 PROAJO/INTA, Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Mendoza, Argentina.
- CAMPILLO R., TORO C. 2002. Manejo de la fertilización, pp. 33-51. *In:* E. Kehr (ed). Cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) para la zona sur de Chile. INIA.

- CASTELLANOS J.Z., OJODEAGUA J.L., MÉNDEZ F., ALCÁNTAR S., VILLALOBOS-REYES S., VARGAS P., MUÑOZ-RAMOS J.J y LAZCANO-FERRAT I. 2002. Potassium requirements for garlic under fertigation. Better Crops International. 16 (1): 9-11. (Consultada: 11-2012). [http://www.ipni.net/ppiweb/bcropint.nsf/\\$webindex/2252A89EC8368C4585256BDC007013B9/\\$file/i02-1p09.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/bcropint.nsf/$webindex/2252A89EC8368C4585256BDC007013B9/$file/i02-1p09.pdf)
- CASTELLANOS J.Z., OJODEAGUA J.L., MÉNDEZ F., VILLALOBOS-REYES S., BADILLO P., VARGAS P., y LAZCANO-FERRAT I. 2001. Phosphorus requirements by garlic under fertigation. Better Crops International Vol. 15 (2): 21-23. (Consultada: 04-2013). [http://www.ipni.net/ppiweb/bcropint.nsf/\\$webindex/FCC1D596E993362485256B08003C77A7/\\$file/P+Garlic.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/bcropint.nsf/$webindex/FCC1D596E993362485256B08003C77A7/$file/P+Garlic.pdf)
- COTO Q. 1974. Posibilidad de exportar seis productos frescos a la República Federal Alemana (ajo, cebolla, puerro, espinaca, coliflor y zanahoria). Informe de práctica. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- DELAHAUT K., NEWENHOUSE, A. 2003. Growing Onions, Garlic, Leeks and Other Alliums in Wisconsin: A Guide for Fresh-Market Growers. University of Wisconsin. Wisconsin, USA. Consultada:(Consultada: 11-2012). <http://learningstore.uwex.edu/assets/pdfs/A3785.PDF>
- DÍAZ-ROMEU R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 61p.
- DICKERSON G. 2011. Garlic Production in New Mexico. New Mexico State University. Guide H-234.
- GARCÍA B. 1994. Estudio de factibilidad económico de la producción de ajo (*Allium sativa*) en la zona de San Luis de Santo Domingo. Práctica Dirigida de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 113 p.
- HORNECK D.A. 2004. Nutrient management for onions in the Pacific Northwest. Better Crops 88:14-16. (Consultada 04-2013) [http://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf/\\$webindex/6A22835AFC3C9FBB85256E3C001D20FD/\\$file/04-1p14.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf/$webindex/6A22835AFC3C9FBB85256E3C001D20FD/$file/04-1p14.pdf).
- IICA. 2006. Estudio de la cadena agroalimentaria de ajo en la República Dominicana. Secretaría de Estado de Agricultura, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Consejo Nacional de Competitividad. República Dominicana. (Consultada 11-2011). <http://www.iicard.org/PDF/cadenasagroa/Cadena%20Agroalimentaria%20de%20Ajo.pdf>

- IZQUIERDO H, 2006. Instructivo técnico para la producción de ajo semilla de alta calidad fitosanitaria mediante el empleo de técnicas biotecnológicas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba. (Consultada 04-2013). <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/nota6t30.pdf>
- IZQUIERDO H., QUIONES Y. 2001. Obtención de semilla de ajo mejorada mediante el empleo de técnicas biotecnológicas. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, Facultad de Biología de la Universidad de La Habana, Cuba. (Consultada: 04-2013). <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/nfnotas15R2.pdf>
- JAÉN L., AZOFEIFA L. 2010. Sector agropecuario: Políticas y acciones para la cadena productiva de cebolla. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Ganadería. (Consultada: 11-2011). http://www.infoagro.go.cr/SEPSA/documentacion/agrocadenas/Politica_cebolla.pdf
- KILGORY M., MAGAJI M., YAKUBA A. 2007. Productivity of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars as affected by different levels of nitrogenous and phosphorous fertilizers in Sokoto, Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2 (2): 158-162. (Consultada 8-2013). [http://www.idosi.org/aejaes/jaes2\(2\)/9.pdf](http://www.idosi.org/aejaes/jaes2(2)/9.pdf)
- MEDINA J. 2008. Cebolla: Guía Técnica. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Santo Domingo, República Dominicana. (Consultada: 10-2012). http://www.idiaf.gov.do/publicaciones/Publications/cebolla_guia_idiaf/HTML/index.html
- NUÑEZ M., SAN ROMÁN M. 2008. Principios y recomendaciones para la producción de ajo en Los Andes venezolanos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela. (Consultada: 04-2013). http://www.inia.gob.ve/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=841&Itemid=28
- RESENDE F, FAQUIN V, SOUZA, R, SANTOS V. 1999. Acúmulo de matéria seca e exigências nutricionais de plantas de alho provenientes de cultura de tecidos e de propagação convencional. *Horticultura Brasileira* 17 (3): 220-226.
- REVELES M., VELASQUES R., BRAVO A. 2009. Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zacatecas, México. (Consultada 08-2013). <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/Tecnologia%20para%20cultivar%20ajo%20en%20Zac.pdf>
- ROSALES F., MOLINA L. 2007. Diversidad genética de poblaciones de ajo (*Allium sativum* L.) cultivadas en Guatemala, definida por marcadores de ADN. *Agronomía Mesoamericana* 18 (1):85-92.

- RUÍZ R. 1985. Ritmo de absorción de nitrógeno y fósforo y respuesta a fertilizaciones NP en ajos. *Agricultura Técnica* 45(2): 153-158. (Consultada: 04-2012). http://www.chileanjar.cl/files/V45I2A08_es.pdf
- SABORÍO M. 2013. Generalidades del cultivo de cebolla, pp. 1-8. *In*: M.M. Granados (ed). Problemas fitosanitarios de la cebolla en Costa Rica. UCR.
- SALUZZO J., VILLAFANE N., FIGUEROLA P. 2010. Bulbificación de cuatro tipos comerciales de ajo (*Allium sativum* L.) en las condiciones ambientales del Valle Antinaco-Los Colorados, La Rioja, Argentina. *Horticultura Argentina* 29 (68).
- SANCHO H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. *Informaciones Agronómicas* N° 36 (INPOFOS). San José, Costa Rica. p 36:11-13.
- SARITA V. 1995. Cultivo del ajo. Fundación de desarrollo agropecuario, INC. Boletín técnico no. 5. República Dominicana. 17 p. www.rediaf.net.do/publicaciones/guias/download/ajo.pdf
- SERRANO I., MORA U. 2007. Sistematización de la Agrocadena Cebolla. Agencias de Servicios Agropecuarios de Llano Grande y Tierra Blanca, Ministerio de Agricultura y Ganadería. (Consultada: 11-2012). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00077.pdf>
- SOTO J. 1987. Requerimientos nutricionales de la cebolla (*Allium cepa*) en los suelos de la región norte de Cartago. I. Respuesta a N, P y K. *Agronomía Costarricense* 11(2): 239-243.
- SOTO J. 1987. Requerimientos nutricionales de la cebolla (*Allium cepa*) en los suelos de la región norte de Cartago. II. Niveles críticos de P, K, S y respuesta a N. *Agronomía Costarricense* 12(1):53-57.
- SULLIVAN D., BROWN B., SHOCK C., HORNECK D., STEVENS R., PELTER G. y FEIBERT E. 2001. Nutrient management for onions in the Pacific Northwest. Oregon State University, Washington State University y University of Idaho. (Consultada: 11-2012) http://www.oregon.gov/ODA/pest/docs/pdf/98_23_pnw546.pdf
- TYLER K., MAY D., GUERARD J., RIRIE D., HATAKEDA J. 1998. Diagnosing nutrient needs of garlic. *California Agriculture*. California, United States of America. (Consultada 04-2013).
- YARA, 2012. Nutricional Summary. Ghana. (Consultada 04-2012). <http://www.yaraghana.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=2010c99b-d075-436d-bbbd-56a043c97e51>
- ZUÑIGA C., BRENES J. 2013. Historia del cultivo del ajo, pp. 3-20. *In*: D. Villalobos (ed). Cultivo del ajo en Costa Rica. UNED.

8. ANEXOS

Anexo 1. Peso fresco y peso seco de la muestras de ajo Criollo.

| Edad | Repetición | Gramos (g) | | | | | | | |
|---------|------------|------------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | | PF aéreo | PF bulbo | PF raíz | PF total | PS aéreo | PS bulbo | PS raíz | PS total |
| 45 DDS | 1 | 73,86 | 0,00 | 15,62 | 89,48 | 8,16 | 0,00 | 1,46 | 9,62 |
| | 2 | 74,65 | 0,00 | 18,74 | 93,39 | 8,70 | 0,00 | 1,74 | 10,44 |
| | 3 | 70,82 | 0,00 | 16,18 | 87,00 | 7,73 | 0,00 | 1,56 | 9,29 |
| | 4 | 42,59 | 0,00 | 12,48 | 55,07 | 4,80 | 0,00 | 1,17 | 5,97 |
| | 5 | 44,23 | 0,00 | 12,48 | 56,71 | 6,01 | 0,00 | 1,38 | 7,39 |
| | Promedio | 61,23 | 0,00 | 15,10 | 76,33 | 7,08 | 0,00 | 1,46 | 8,54 |
| | Desv.Est | 16,34 | 0,00 | 2,67 | 18,81 | 1,62 | 0,00 | 0,21 | 1,82 |
| | CV | 26,69 | 0,00 | 17,65 | 24,64 | 22,95 | 0,00 | 14,46 | 21,32 |
| 60 DDS | 1 | 159,31 | 22,47 | 32,04 | 213,82 | 13,38 | 2,23 | 2,20 | 17,81 |
| | 2 | 99,81 | 17,43 | 29,75 | 146,99 | 8,61 | 2,14 | 2,13 | 12,88 |
| | 3 | 122,30 | 18,55 | 34,27 | 175,12 | 10,58 | 2,07 | 2,63 | 15,28 |
| | 4 | 124,47 | 21,18 | 28,91 | 174,56 | 11,17 | 2,71 | 2,20 | 16,08 |
| | 5 | 110,88 | 17,87 | 35,23 | 163,98 | 9,88 | 2,02 | 2,63 | 14,53 |
| | Promedio | 123,35 | 19,50 | 32,04 | 174,89 | 10,72 | 2,23 | 2,36 | 15,32 |
| | Desv.Est | 22,39 | 2,21 | 2,75 | 24,56 | 1,76 | 0,28 | 0,25 | 1,83 |
| | CV | 18,15 | 11,32 | 8,57 | 14,04 | 16,45 | 12,42 | 10,60 | 11,93 |
| 75 DDS | 1 | 262,00 | 42,70 | 40,80 | 345,50 | 25,90 | 4,80 | 3,60 | 34,30 |
| | 2 | 233,50 | 48,60 | 37,50 | 319,60 | 25,80 | 7,10 | 4,00 | 36,90 |
| | 3 | 191,80 | 33,60 | 27,40 | 252,80 | 20,40 | 4,30 | 2,90 | 27,60 |
| | 4 | 220,30 | 38,50 | 32,80 | 291,60 | 23,40 | 4,90 | 3,40 | 31,70 |
| | 5 | 241,60 | 46,00 | 43,20 | 330,80 | 25,60 | 5,90 | 4,00 | 35,50 |
| | Promedio | 229,84 | 41,88 | 36,34 | 308,06 | 24,22 | 5,40 | 3,58 | 33,20 |
| | Desv.Est | 26,10 | 5,97 | 6,34 | 36,66 | 2,37 | 1,11 | 0,46 | 3,67 |
| | CV | 11,35 | 14,27 | 17,44 | 11,90 | 9,79 | 20,62 | 12,86 | 11,05 |
| 90 DDS | 1 | 380,80 | 88,40 | 61,70 | 530,90 | 42,50 | 12,90 | 5,20 | 60,60 |
| | 2 | 306,60 | 82,90 | 49,60 | 439,10 | 37,50 | 13,30 | 4,60 | 55,40 |
| | 3 | 326,30 | 74,70 | 40,10 | 441,10 | 37,50 | 11,50 | 3,70 | 52,70 |
| | 4 | 255,50 | 61,40 | 36,50 | 353,40 | 28,90 | 8,60 | 3,30 | 40,80 |
| | 5 | 278,60 | 77,60 | 40,70 | 396,90 | 32,10 | 12,20 | 3,60 | 47,90 |
| | Promedio | 309,56 | 77,00 | 45,72 | 432,28 | 35,70 | 11,70 | 4,08 | 51,48 |
| | Desv.Est | 48,08 | 10,17 | 10,15 | 65,81 | 5,29 | 1,86 | 0,79 | 7,53 |
| | CV | 15,53 | 13,21 | 22,20 | 15,22 | 14,82 | 15,93 | 19,41 | 14,63 |
| 105 DDS | 1 | 273,00 | 123,00 | 27,70 | 423,70 | 41,70 | 27,60 | 3,80 | 73,10 |
| | 2 | 355,80 | 151,00 | 32,50 | 539,30 | 52,60 | 34,10 | 4,30 | 91,00 |
| | 3 | 424,30 | 196,50 | 46,70 | 667,50 | 61,50 | 41,90 | 6,10 | 109,50 |
| | 4 | 306,10 | 133,40 | 32,60 | 472,10 | 44,60 | 29,30 | 4,40 | 78,30 |
| | 5 | 252,00 | 116,10 | 24,10 | 392,20 | 36,50 | 25,50 | 2,90 | 64,90 |
| | Promedio | 322,24 | 144,00 | 32,72 | 498,96 | 47,38 | 31,68 | 4,30 | 83,36 |
| | Desv.Est | 69,21 | 32,16 | 8,59 | 109,33 | 9,81 | 6,53 | 1,17 | 17,42 |
| | CV | 21,48 | 22,33 | 26,25 | 21,91 | 20,71 | 20,63 | 27,17 | 20,89 |
| 120 DDS | 1 | 301,70 | 257,50 | 25,20 | 584,40 | 47,90 | 69,40 | 4,30 | 121,60 |
| | 2 | 232,40 | 210,20 | 23,80 | 466,40 | 35,70 | 56,70 | 3,50 | 95,90 |
| | 3 | 247,90 | 213,80 | 21,30 | 483,00 | 38,90 | 57,10 | 3,30 | 99,30 |
| | 4 | 357,90 | 271,90 | 34,40 | 664,20 | 52,30 | 69,90 | 5,20 | 127,40 |
| | 5 | 225,50 | 224,20 | 19,30 | 469,00 | 33,80 | 60,50 | 3,10 | 97,40 |
| | Promedio | 273,08 | 235,52 | 24,80 | 533,40 | 41,72 | 62,72 | 3,88 | 108,32 |
| | Desv.Est | 56,05 | 27,60 | 5,83 | 87,87 | 8,02 | 6,50 | 0,87 | 14,96 |
| | CV | 20,53 | 11,72 | 23,50 | 16,47 | 19,21 | 10,36 | 22,35 | 13,81 |
| 130 DDS | 1 | 215,50 | 270,80 | 19,00 | 505,30 | 43,80 | 88,80 | 4,60 | 137,20 |
| | 2 | 190,90 | 269,00 | 18,70 | 478,60 | 37,80 | 91,40 | 3,90 | 133,10 |
| | 3 | 218,80 | 268,40 | 22,50 | 509,70 | 43,20 | 85,70 | 4,90 | 133,80 |
| | 4 | 221,60 | 270,00 | 21,00 | 512,60 | 40,10 | 85,60 | 4,00 | 129,70 |
| | 5 | 216,00 | 271,50 | 20,50 | 508,00 | 39,80 | 84,50 | 4,00 | 128,30 |
| | Promedio | 212,56 | 269,94 | 20,34 | 502,84 | 40,94 | 87,20 | 4,28 | 132,42 |
| | Desv.Est | 12,35 | 1,27 | 1,55 | 13,81 | 2,51 | 2,84 | 0,44 | 3,52 |
| | CV | 5,81 | 0,47 | 7,62 | 2,75 | 6,13 | 3,26 | 10,37 | 2,66 |

Anexo 2. Peso fresco y peso seco de la muestras de cebolla cv. Aquarius.

| Edad | Repetición | Gramos (g) | | | | | | | |
|---------|------------|------------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | | PF aéreo | PF bulbo | PF raíz | PF total | PS aéreo | PS bulbo | PS raíz | PS total |
| 0 DDT | 1 | 176,16 | 0,00 | 35,22 | 211,38 | 7,45 | 0,00 | 1,34 | 8,79 |
| | 2 | 180,95 | 0,00 | 42,63 | 223,58 | 7,32 | 0,00 | 1,57 | 8,89 |
| | 3 | 178,24 | 0,00 | 37,56 | 215,80 | 7,64 | 0,00 | 1,43 | 9,07 |
| | 4 | 159,54 | 0,00 | 33,36 | 192,90 | 6,46 | 0,00 | 1,18 | 7,64 |
| | 5 | 169,67 | 0,00 | 33,36 | 203,03 | 6,75 | 0,00 | 1,40 | 8,15 |
| | Promedio | 172,91 | 0,00 | 36,43 | 209,34 | 7,12 | 0,00 | 1,38 | 8,51 |
| | Desv.Est | 8,56 | 0,00 | 3,87 | 11,82 | 0,50 | 0,00 | 0,14 | 0,60 |
| CV | 4,95 | 0,00 | 10,64 | 5,65 | 6,99 | 0,00 | 10,25 | 7,01 | |
| 15 DDT | 1 | 23,30 | 0,00 | 4,30 | 27,60 | 1,29 | 0,00 | 0,17 | 1,46 |
| | 2 | 34,41 | 0,00 | 6,79 | 41,20 | 1,99 | 0,00 | 0,35 | 2,34 |
| | 3 | 36,19 | 0,00 | 7,74 | 43,93 | 2,18 | 0,00 | 0,43 | 2,61 |
| | 4 | 49,66 | 0,00 | 13,39 | 63,05 | 3,04 | 0,00 | 0,77 | 3,81 |
| | 5 | 38,01 | 0,00 | 13,39 | 51,40 | 2,27 | 0,00 | 0,42 | 2,69 |
| | Promedio | 36,31 | 0,00 | 9,12 | 45,44 | 2,15 | 0,00 | 0,43 | 2,58 |
| | Desv.Est | 9,41 | 0,00 | 4,09 | 13,08 | 0,63 | 0,00 | 0,22 | 0,84 |
| CV | 25,91 | 0,00 | 44,88 | 28,78 | 29,11 | 0,00 | 50,88 | 32,62 | |
| 30 DDT | 1 | 24,50 | 0,00 | 1,91 | 26,41 | 1,06 | 0,00 | 0,02 | 1,08 |
| | 2 | 85,82 | 0,00 | 3,79 | 89,61 | 5,20 | 0,00 | 0,13 | 5,33 |
| | 3 | 33,08 | 0,00 | 2,43 | 35,51 | 1,78 | 0,00 | 0,06 | 1,84 |
| | 4 | 33,63 | 0,00 | 2,01 | 35,64 | 1,85 | 0,00 | 0,04 | 1,89 |
| | 5 | 45,45 | 0,00 | 2,01 | 47,46 | 2,63 | 0,00 | 0,09 | 2,72 |
| | Promedio | 44,50 | 0,00 | 2,43 | 46,93 | 2,50 | 0,00 | 0,07 | 2,57 |
| | Desv.Est | 24,27 | 0,00 | 0,79 | 25,00 | 1,61 | 0,00 | 0,04 | 1,65 |
| CV | 54,55 | 0,00 | 32,36 | 53,28 | 64,15 | 0,00 | 63,59 | 64,05 | |
| 45 DDT | 1 | 151,46 | 22,57 | 16,61 | 190,64 | 8,18 | 1,13 | 0,66 | 9,97 |
| | 2 | 277,61 | 40,66 | 14,78 | 333,05 | 14,54 | 2,36 | 2,16 | 19,06 |
| | 3 | 161,93 | 25,80 | 17,42 | 205,15 | 8,77 | 1,37 | 0,78 | 10,92 |
| | 4 | 202,76 | 25,80 | 14,06 | 242,62 | 11,68 | 2,46 | 0,66 | 14,80 |
| | 5 | 177,30 | 23,78 | 14,06 | 215,14 | 10,09 | 1,31 | 0,53 | 11,93 |
| | Promedio | 194,21 | 27,72 | 15,39 | 237,32 | 10,65 | 1,73 | 0,96 | 13,34 |
| | Desv.Est | 50,46 | 7,36 | 1,54 | 56,79 | 2,56 | 0,63 | 0,68 | 3,68 |
| CV | 25,98 | 26,56 | 10,03 | 23,93 | 24,00 | 36,59 | 70,74 | 27,56 | |
| 60 DDT | 1 | 421,10 | 77,80 | 22,30 | 521,20 | 21,70 | 4,50 | 1,20 | 27,40 |
| | 2 | 758,60 | 143,40 | 32,20 | 934,20 | 38,10 | 9,30 | 2,10 | 49,50 |
| | 3 | 467,70 | 110,00 | 20,10 | 597,80 | 24,40 | 7,40 | 1,30 | 33,10 |
| | 4 | 576,70 | 110,00 | 20,70 | 707,40 | 31,50 | 7,10 | 1,30 | 39,90 |
| | 5 | 526,30 | 116,30 | 20,70 | 663,30 | 27,60 | 7,70 | 1,40 | 36,70 |
| | Promedio | 550,08 | 111,50 | 23,20 | 684,78 | 28,66 | 7,20 | 1,46 | 37,32 |
| | Desv.Est | 130,55 | 23,35 | 5,10 | 156,13 | 6,42 | 1,73 | 0,36 | 8,24 |
| CV | 23,73 | 20,94 | 21,97 | 22,80 | 22,40 | 24,06 | 24,98 | 22,08 | |
| 75 DDT | 1 | 456,90 | 267,10 | 25,50 | 749,50 | 30,50 | 22,50 | 1,60 | 54,60 |
| | 2 | 588,80 | 311,20 | 38,30 | 938,30 | 37,00 | 25,10 | 2,50 | 64,60 |
| | 3 | 599,10 | 374,60 | 23,70 | 997,40 | 37,90 | 29,80 | 1,60 | 69,30 |
| | 4 | 836,30 | 374,60 | 36,10 | 1247,00 | 50,50 | 31,10 | 2,80 | 84,40 |
| | 5 | 533,70 | 283,50 | 36,10 | 853,30 | 35,10 | 21,80 | 1,60 | 58,50 |
| | Promedio | 602,96 | 322,20 | 31,94 | 957,10 | 38,20 | 26,06 | 2,02 | 66,28 |
| | Desv.Est | 142,12 | 50,36 | 6,79 | 187,01 | 7,45 | 4,22 | 0,58 | 11,59 |
| CV | 23,57 | 15,63 | 21,26 | 19,54 | 19,49 | 16,18 | 28,95 | 17,49 | |
| 90 DDT | 1 | 434,70 | 696,50 | 15,10 | 1146,30 | 31,60 | 56,40 | 1,10 | 89,10 |
| | 2 | 1072,70 | 1225,10 | 22,80 | 2320,60 | 62,10 | 93,30 | 1,70 | 157,10 |
| | 3 | 481,60 | 664,10 | 15,70 | 1161,40 | 33,60 | 54,50 | 1,00 | 89,10 |
| | 4 | 977,00 | 664,10 | 25,80 | 1666,90 | 62,80 | 62,00 | 1,90 | 126,70 |
| | 5 | 913,30 | 921,70 | 25,80 | 1860,80 | 58,60 | 71,90 | 1,80 | 132,30 |
| | Promedio | 775,86 | 834,30 | 21,04 | 1631,20 | 49,74 | 67,62 | 1,50 | 118,86 |
| | Desv.Est | 295,99 | 243,56 | 5,30 | 496,26 | 15,74 | 15,87 | 0,42 | 29,48 |
| CV | 38,15 | 29,19 | 25,17 | 30,42 | 31,65 | 23,47 | 27,89 | 24,80 | |
| 105 DDT | 1 | 442,60 | 1035,10 | 15,20 | 1492,90 | 33,60 | 87,60 | 1,50 | 122,70 |
| | 2 | 814,30 | 1314,30 | 24,30 | 2152,90 | 57,80 | 92,70 | 2,50 | 153,00 |
| | 3 | 618,60 | 1419,70 | 13,80 | 2052,10 | 40,90 | 99,60 | 0,90 | 141,40 |
| | 4 | 691,30 | 1419,70 | 14,30 | 2125,30 | 45,40 | 110,40 | 1,30 | 157,10 |
| | 5 | 1162,90 | 1928,40 | 14,30 | 3105,60 | 72,90 | 134,90 | 2,10 | 209,90 |
| | Promedio | 745,94 | 1423,44 | 16,38 | 2185,76 | 50,12 | 105,04 | 1,66 | 156,82 |
| | Desv.Est | 269,14 | 323,16 | 4,46 | 580,68 | 15,48 | 18,75 | 0,64 | 32,54 |
| CV | 36,08 | 22,70 | 27,20 | 26,57 | 30,88 | 17,85 | 38,48 | 20,75 | |
| 120 DDT | 1 | 301,70 | 2518,00 | 25,20 | 2844,90 | 47,90 | 202,80 | 4,30 | 255,00 |
| | 2 | 232,40 | 2119,10 | 23,80 | 2375,30 | 35,70 | 156,60 | 3,50 | 195,80 |
| | 3 | 247,90 | 2666,40 | 21,30 | 2935,60 | 38,90 | 212,30 | 3,30 | 254,50 |
| | 4 | 357,90 | 2666,40 | 34,40 | 3058,70 | 52,30 | 159,10 | 5,20 | 216,60 |
| | 5 | 225,50 | 2334,80 | 34,40 | 2594,70 | 33,80 | 164,80 | 3,10 | 201,70 |
| | Promedio | 273,08 | 2460,94 | 27,82 | 2761,84 | 41,72 | 179,12 | 3,88 | 224,72 |
| | Desv.Est | 56,05 | 234,76 | 6,17 | 275,03 | 8,02 | 26,34 | 0,87 | 28,44 |
| CV | 20,53 | 9,54 | 22,17 | 9,96 | 19,21 | 14,70 | 22,35 | 12,66 | |

Anexo 3. Porcentaje de humedad de las plantas de ajo Criollo muestreadas.

| Edad | Parte aérea | Bulbo | Raíz |
|-----------------|--------------------|--------------|-------------|
| 45 DDS | 88,3 | | 90,7 |
| 60 DDS | 91,3 | 88,2 | 92,6 |
| 75 DDS | 89,4 | 87,2 | 90,1 |
| 90 DDS | 88,5 | 85,2 | 91,0 |
| 105 DDS | 85,3 | 77,9 | 86,9 |
| 120 DDS | 84,7 | 73,6 | 84,3 |
| 130 DDS | 80,7 | 67,6 | 78,9 |
| Promedio | 86,9 | 79,9 | 87,8 |

Anexo 4. Porcentaje de humedad de las plantas de cebolla cv. Aquarius muestreadas.

| Edad | Parte aérea | Bulbo | Raíz |
|-----------------|--------------------|--------------|-------------|
| 0 DDT | 95,9 | | 96,3 |
| 15 DDT | 94,1 | | 94,6 |
| 30 DDT | 94,6 | | 97,0 |
| 45 DDT | 94,5 | 94,2 | 91,5 |
| 60 DDT | 94,8 | 93,4 | 93,6 |
| 75 DDT | 93,6 | 92,1 | 93,2 |
| 90 DDT | 93,4 | 92,2 | 92,7 |
| 105 DDT | 93,2 | 92,8 | 91,2 |
| 120 DDT | 84,7 | 92,4 | 84,8 |
| Promedio | 93,2 | 92,9 | 92,8 |

Anexo 5. Clasificación de los nutrimentos de acuerdo a su movilidad dentro de la planta (Alcántar et al. 2007).

| Nutrimentos móviles | Nutrimentos de mediana movilidad | Nutrimentos no móviles |
|----------------------------|---|-------------------------------|
| Nitrógeno | Azufre | Calcio |
| Fósforo | Cobre | Manganeso |
| Potasio | Zinc | Boro |
| Magnesio | Molibdeno | Hierro |

Anexo 6. Concentración y absorción de elementos mayores y menores por hectárea, por la parte aérea, bulbo y raíces de ajo Criollo, durante todo el ciclo de cultivo, en Matinilla, Santa Ana 2011-2012.

| Tejido | Días | Peso seco | | Concentración | | | | | | | | | | Cantidad absorbida | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|--------------------------|---------------------|---------------|------|------|------|------|---------------------|------|-----|----|-----|---------------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | | g.planta ⁻¹ | kg.ha ⁻¹ | % | | | | | mg.kg ⁻¹ | | | | | kg.ha ⁻¹ | | | | | g.ha ⁻¹ | | | | | | |
| | | plantas.ha ⁻¹ | 236686 | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Hojas | 44 | 0,77 | 182 | 4,51 | 0,43 | 3,8 | 0,98 | 0,25 | 0,67 | 534 | 9 | 27 | 52 | 23 | 8,2 | 0,8 | 6,9 | 1,8 | 0,5 | 1,2 | 97,3 | 1,6 | 4,9 | 9,5 | 4,2 |
| | 58 | 1,22 | 288 | 5,14 | 0,45 | 4,69 | 1,05 | 0,29 | 0,73 | 320 | 9 | 30 | 43 | 26 | 14,8 | 1,3 | 13,5 | 3,0 | 0,8 | 2,1 | 92,3 | 2,6 | 8,7 | 12,4 | 7,5 |
| | 72 | 2,88 | 682 | 3,61 | 0,38 | 3,81 | 0,95 | 0,26 | 0,76 | 192 | 8 | 28 | 43 | 25 | 24,6 | 2,6 | 26,0 | 6,5 | 1,8 | 5,2 | 131,0 | 5,5 | 19,1 | 29,3 | 17,1 |
| | 86 | 4,25 | 1006 | 3,58 | 0,35 | 3,77 | 0,98 | 0,28 | 0,73 | 167 | 7 | 33 | 38 | 24 | 36,0 | 3,5 | 37,9 | 9,9 | 2,8 | 7,3 | 168,0 | 7,0 | 33,2 | 38,2 | 24,1 |
| | 100 | 5,78 | 1368 | 2,8 | 0,3 | 2,92 | 0,96 | 0,27 | 0,63 | 88 | 8 | 20 | 43 | 28 | 38,3 | 4,1 | 39,9 | 13,1 | 3,7 | 8,6 | 120,3 | 10,9 | 27,4 | 58,8 | 38,3 |
| | 114 | 5,79 | 1371 | 2,55 | 0,22 | 2,93 | 1,43 | 0,33 | 0,5 | 146 | 7 | 17 | 44 | 65 | 35,0 | 3,0 | 40,2 | 19,6 | 4,5 | 6,9 | 200,2 | 9,6 | 23,3 | 60,3 | 89,1 |
| | 123 | 4,65 | 1101 | 1,55 | 0,15 | 2,65 | 1,71 | 0,38 | 0,32 | 148 | 6 | 15 | 47 | 84 | 17,1 | 1,7 | 29,2 | 18,8 | 4,2 | 3,5 | 163,0 | 6,6 | 16,5 | 51,8 | 92,5 |
| Bulbo | 44 | | 0 | | | | | | | | | | | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 58 | 0,25 | 60 | 4,37 | 0,45 | 2,65 | 1,52 | 0,18 | 0,56 | 60 | 7 | 38 | 29 | 17 | 2,6 | 0,3 | 1,6 | 0,9 | 0,1 | 0,3 | 3,6 | 0,4 | 2,3 | 1,7 | 1,0 |
| | 72 | 0,64 | 152 | 2,39 | 0,29 | 1,76 | 1,54 | 0,14 | 0,46 | 71 | 6 | 33 | 24 | 15 | 3,6 | 0,4 | 2,7 | 2,3 | 0,2 | 0,7 | 10,8 | 0,9 | 5,0 | 3,7 | 2,3 |
| | 86 | 1,39 | 330 | 2,02 | 0,24 | 1,42 | 1,57 | 0,12 | 0,41 | 71 | 5 | 30 | 23 | 15 | 6,7 | 0,8 | 4,7 | 5,2 | 0,4 | 1,4 | 23,4 | 1,6 | 9,9 | 7,6 | 4,9 |
| | 100 | 3,86 | 914 | 1,42 | 0,2 | 0,99 | 1,16 | 0,09 | 0,33 | 26 | 4 | 21 | 20 | 12 | 13,0 | 1,8 | 9,1 | 10,6 | 0,8 | 3,0 | 23,8 | 3,7 | 19,2 | 18,3 | 11,0 |
| | 114 | 8,71 | 2062 | 2,19 | 0,26 | 1,01 | 0,73 | 0,08 | 0,53 | 35 | 6 | 23 | 18 | 12 | 45,2 | 5,4 | 20,8 | 15,1 | 1,6 | 10,9 | 72,2 | 12,4 | 47,4 | 37,1 | 24,7 |
| | 123 | 9,91 | 2345 | 2,46 | 0,32 | 1,12 | 0,68 | 0,08 | 0,64 | 33 | 6 | 25 | 19 | 12 | 57,7 | 7,5 | 26,3 | 15,9 | 1,9 | 15,0 | 77,4 | 14,1 | 58,6 | 44,6 | 28,1 |
| Raíz | 44 | 0,16 | 38 | 3,5 | 0,34 | 4,48 | 0,56 | 0,19 | 0,83 | 3992 | 48 | 51 | 181 | 27 | 1,3 | 0,1 | 1,7 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 150,1 | 1,8 | 1,9 | 6,8 | 1,0 |
| | 58 | 0,27 | 63 | 4,07 | 0,32 | 5,01 | 0,63 | 0,2 | 0,83 | 2951 | 59 | 53 | 153 | 24 | 2,6 | 0,2 | 3,2 | 0,4 | 0,1 | 0,5 | 187,2 | 3,7 | 3,4 | 9,7 | 1,5 |
| | 72 | 0,43 | 101 | 3,19 | 0,36 | 4,81 | 0,69 | 0,19 | 0,94 | 3135 | 99 | 73 | 185 | 25 | 3,2 | 0,4 | 4,9 | 0,7 | 0,2 | 0,9 | 316,2 | 10,0 | 7,4 | 18,7 | 2,5 |
| | 86 | 0,49 | 115 | 2,86 | 0,34 | 4,46 | 0,72 | 0,17 | 0,88 | 2794 | 106 | 67 | 160 | 25 | 3,3 | 0,4 | 5,1 | 0,8 | 0,2 | 1,0 | 321,2 | 12,2 | 7,7 | 18,4 | 2,9 |
| | 100 | 0,52 | 124 | 1,98 | 0,23 | 3,52 | 0,82 | 0,15 | 0,64 | 1081 | 91 | 53 | 107 | 22 | 2,5 | 0,3 | 4,4 | 1,0 | 0,2 | 0,8 | 134,2 | 11,3 | 6,6 | 13,3 | 2,7 |
| | 114 | 0,54 | 128 | 1,87 | 0,16 | 2,98 | 1,02 | 0,16 | 0,58 | 1676 | 71 | 41 | 95 | 29 | 2,4 | 0,2 | 3,8 | 1,3 | 0,2 | 0,7 | 213,8 | 9,1 | 5,2 | 12,1 | 3,7 |
| | 123 | 0,49 | 115 | 1,54 | 0,14 | 2,29 | 1,33 | 0,18 | 0,4 | 1008 | 78 | 47 | 76 | 28 | 1,8 | 0,2 | 2,6 | 1,5 | 0,2 | 0,5 | 116,0 | 9,0 | 5,4 | 8,7 | 3,2 |
| Total | 44 | 0,9 | 220 | | | | | | | | | | | | 9,5 | 0,9 | 8,6 | 2,0 | 0,5 | 1,5 | 247,4 | 3,4 | 6,8 | 16,3 | 5,2 |
| | 58 | 1,7 | 412 | | | | | | | | | | | | 20,0 | 1,8 | 18,3 | 4,3 | 1,1 | 3,0 | 283,1 | 6,8 | 14,3 | 23,8 | 10,0 |
| | 72 | 4,0 | 935 | | | | | | | | | | | | 31,5 | 3,4 | 33,5 | 9,5 | 2,2 | 6,8 | 458,1 | 16,4 | 31,5 | 51,7 | 21,9 |
| | 86 | 6,1 | 1451 | | | | | | | | | | | | 46,0 | 4,7 | 47,7 | 15,9 | 3,4 | 9,7 | 512,6 | 20,9 | 50,8 | 64,2 | 32,0 |
| | 100 | 10,2 | 2406 | | | | | | | | | | | | 53,7 | 6,2 | 53,4 | 24,8 | 4,7 | 12,4 | 278,3 | 25,9 | 53,1 | 90,4 | 52,0 |
| | 114 | 15,0 | 3561 | | | | | | | | | | | | 82,5 | 8,6 | 64,8 | 36,0 | 6,4 | 18,5 | 486,2 | 31,0 | 76,0 | 109,6 | 117,6 |
| | 123 | 15,0 | 3562 | | | | | | | | | | | | 76,5 | 9,3 | 58,1 | 36,3 | 6,3 | 19,0 | 356,4 | 29,7 | 80,6 | 105,1 | 123,9 |
| Total | | | 3562 | | | | | | | | | | | | 82,5 | 9,3 | 64,8 | 36,3 | 6,4 | 19,0 | 512,6 | 31,0 | 80,6 | 109,6 | 123,9 |
| Cosecha | | | | | | | | | | | | | | | 57,7 | 7,5 | 26,3 | 15,9 | 1,9 | 15,0 | 77,4 | 14,1 | 58,6 | 44,6 | 28,1 |
| % del total | | | | | | | | | | | | | | | 70 | 81 | 41 | 44 | 29 | 79 | 15 | 45 | 73 | 41 | 23 |

Anexo 7. Concentración y absorción de elementos mayores y menores por hectárea, por la parte aérea, bulbo y raíces de cebolla cv. Aquarius, durante todo el ciclo de cultivo, en Matinilla, Santa Ana 2011-2012.

| Tejido | Días | Peso seco | | Concentración | | | | | | | | | | Cantidad absorbida | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|--------------------------|---------------------|---------------|------|------|------|------|------|---------------------|----|----|-----|---------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | | g.planta ⁻¹ | kg.ha ⁻¹ | % | | | | | | mg.kg ⁻¹ | | | | kg.ha ⁻¹ | | | | | g.ha ⁻¹ | | | | | | |
| | | plantas.ha ⁻¹ | 384615 | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B | N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Cu | Zn | Mn | B |
| Parte aérea | 0 | 0,07 | 27 | 3,99 | 1,03 | 5,59 | 0,95 | 0,49 | 0,44 | 67 | 5 | 46 | 83 | 42 | 1,1 | 0,3 | 1,5 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 1,8 | 0,1 | 1,3 | 2,3 | 1,2 |
| | 15 | 0,22 | 83 | 3,54 | 0,26 | 4,54 | 1,22 | 0,24 | 0,45 | 367 | 6 | 22 | 47 | 17 | 2,9 | 0,2 | 3,8 | 1,0 | 0,2 | 0,4 | 30,4 | 0,5 | 1,8 | 3,9 | 1,4 |
| | 30 | 0,24 | 93 | 4,29 | 0,29 | 5,74 | 1,18 | 0,23 | 0,47 | 174 | 5 | 40 | 41 | 14 | 4,0 | 0,3 | 5,3 | 1,1 | 0,2 | 0,4 | 16,1 | 0,5 | 3,7 | 3,8 | 1,3 |
| | 45 | 1,11 | 427 | 4,61 | 0,34 | 5,55 | 1,36 | 0,24 | 0,53 | 148 | 5 | 20 | 43 | 17 | 19,7 | 1,5 | 23,7 | 5,8 | 1,0 | 2,3 | 63,2 | 2,1 | 8,5 | 18,4 | 7,3 |
| | 60 | 3,05 | 1.173 | 3,57 | 0,29 | 5,09 | 1,48 | 0,28 | 0,51 | 172 | 5 | 20 | 42 | 24 | 41,9 | 3,4 | 59,7 | 17,4 | 3,3 | 6,0 | 201,7 | 5,9 | 23,5 | 49,3 | 28,1 |
| | 75 | 3,90 | 1.499 | 2,89 | 0,3 | 4,16 | 1,65 | 0,3 | 0,54 | 111 | 6 | 20 | 45 | 43 | 43,3 | 4,5 | 62,4 | 24,7 | 4,5 | 8,1 | 166,4 | 9,0 | 30,0 | 67,5 | 64,5 |
| | 90 | 5,53 | 2.126 | 2,6 | 0,27 | 3,66 | 1,86 | 0,3 | 0,46 | 111 | 5 | 18 | 45 | 37 | 55,3 | 5,7 | 77,8 | 39,5 | 6,4 | 9,8 | 235,9 | 10,6 | 38,3 | 95,7 | 78,6 |
| | 105 | 5,57 | 2.142 | 2,51 | 0,23 | 3,82 | 2,3 | 0,35 | 0,38 | 145 | 4 | 16 | 48 | 32 | 53,8 | 4,9 | 81,8 | 49,3 | 7,5 | 8,1 | 310,6 | 8,6 | 34,3 | 102,8 | 68,5 |
| 120 | 4,97 | 1.910 | 2,21 | 0,18 | 3,65 | 2,79 | 0,37 | 0,32 | 143 | 3 | 14 | 47 | 31 | 42,2 | 3,4 | 69,7 | 53,3 | 7,1 | 6,1 | 273,2 | 5,7 | 26,7 | 89,8 | 59,2 | |
| Bulbo | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 45 | 0,18 | 69 | 3,7 | 0,52 | 3,99 | 1 | 0,19 | 0,46 | 77 | 9 | 43 | 21 | 16 | 2,6 | 0,4 | 2,8 | 0,7 | 0,1 | 0,3 | 5,3 | 0,6 | 3,0 | 1,5 | 1,1 |
| | 60 | 0,77 | 295 | 1,98 | 0,34 | 2,6 | 0,98 | 0,16 | 0,35 | 106 | 7 | 33 | 19 | 18 | 5,8 | 1,0 | 7,7 | 2,9 | 0,5 | 1,0 | 31,2 | 2,1 | 9,7 | 5,6 | 5,3 |
| | 75 | 2,66 | 1.023 | 1,26 | 0,25 | 1,79 | 0,8 | 0,14 | 0,3 | 39 | 3 | 24 | 17 | 24 | 12,9 | 2,6 | 18,3 | 8,2 | 1,4 | 3,1 | 39,9 | 3,1 | 24,5 | 17,4 | 24,5 |
| | 90 | 7,51 | 2.890 | 1,02 | 0,23 | 1,54 | 0,52 | 0,12 | 0,29 | 23 | 3 | 21 | 15 | 22 | 29,5 | 6,6 | 44,5 | 15,0 | 3,5 | 8,4 | 66,5 | 8,7 | 60,7 | 43,3 | 63,6 |
| 105 | 11,67 | 4.489 | 1,08 | 0,24 | 1,61 | 0,57 | 0,14 | 0,28 | 28 | 3 | 21 | 19 | 22 | 48,5 | 10,8 | 72,3 | 25,6 | 6,3 | 12,6 | 125,7 | 13,5 | 94,3 | 85,3 | 98,8 | |
| 120 | 21,32 | 8.201 | 1,26 | 0,25 | 1,68 | 0,45 | 0,13 | 0,31 | 26 | 3 | 20 | 17 | 20 | 103,3 | 20,5 | 137,8 | 36,9 | 10,7 | 25,4 | 213,2 | 24,6 | 164,0 | 139,4 | 164,0 | |
| Raíz | 0 | 0,01 | 5 | 3,03 | 3,96 | 6,78 | 0,75 | 0,34 | 0,55 | 136 | 11 | 75 | 138 | 33 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,1 | 0,4 | 0,7 | 0,2 |
| | 15 | 0,04 | 16 | 2,86 | 0,24 | 5,87 | 0,61 | 0,22 | 0,42 | 1938 | 19 | 38 | 131 | 23 | 0,5 | 0,0 | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 31,9 | 0,3 | 0,6 | 2,2 | 0,4 |
| | 30 | 0,01 | 3 | 3,32 | 0,25 | 5,48 | 0,74 | 0,27 | 0,41 | 3370 | 29 | 70 | 164 | 24 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,5 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,1 |
| | 45 | 0,10 | 38 | 3,88 | 0,46 | 6,82 | 0,67 | 0,26 | 0,66 | 2532 | 29 | 60 | 165 | 22 | 1,5 | 0,2 | 2,6 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 97,2 | 1,1 | 2,3 | 6,3 | 0,8 |
| | 60 | 0,16 | 60 | 3,18 | 0,36 | 6,02 | 0,78 | 0,23 | 0,72 | 2506 | 53 | 79 | 171 | 24 | 1,9 | 0,2 | 3,6 | 0,5 | 0,1 | 0,4 | 149,7 | 3,2 | 4,7 | 10,2 | 1,4 |
| | 75 | 0,21 | 79 | 2,57 | 0,33 | 5,1 | 0,99 | 0,21 | 0,64 | 1714 | 47 | 70 | 129 | 25 | 2,0 | 0,3 | 4,0 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | 135,9 | 3,7 | 5,5 | 10,2 | 2,0 |
| | 90 | 0,17 | 64 | 2,21 | 0,26 | 4,4 | 1,15 | 0,21 | 0,51 | 1239 | 52 | 62 | 122 | 24 | 1,4 | 0,2 | 2,8 | 0,7 | 0,1 | 0,3 | 79,4 | 3,3 | 4,0 | 7,8 | 1,5 |
| | 105 | 0,18 | 71 | 2,03 | 0,27 | 3,44 | 1,6 | 0,22 | 0,43 | 1952 | 56 | 68 | 127 | 24 | 1,4 | 0,2 | 2,4 | 1,1 | 0,2 | 0,3 | 138,5 | 4,0 | 4,8 | 9,0 | 1,7 |
| 120 | 0,46 | 178 | 1,92 | 0,23 | 2,72 | 1,75 | 0,22 | 0,35 | 1326 | 48 | 55 | 99 | 22 | 3,4 | 0,4 | 4,8 | 3,1 | 0,4 | 0,6 | 235,6 | 8,5 | 9,8 | 17,6 | 3,9 | |
| Total | 0 | 0,09 | 33 | | | | | | | | | | | | 1,3 | 0,5 | 1,9 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 2,6 | 0,2 | 1,7 | 3,0 | 1,3 |
| | 15 | 0,26 | 99 | | | | | | | | | | | | 3,4 | 0,3 | 4,7 | 1,1 | 0,2 | 0,4 | 62,3 | 0,8 | 2,4 | 6,1 | 1,8 |
| | 30 | 0,25 | 95 | | | | | | | | | | | | 4,1 | 0,3 | 5,5 | 1,1 | 0,2 | 0,4 | 24,6 | 0,5 | 3,9 | 4,2 | 1,4 |
| | 45 | 1,39 | 534 | | | | | | | | | | | | 23,7 | 2,0 | 29,1 | 6,8 | 1,3 | 2,8 | 165,7 | 3,9 | 13,8 | 26,1 | 9,2 |
| | 60 | 3,97 | 1.527 | | | | | | | | | | | | 49,6 | 4,6 | 70,9 | 20,7 | 3,9 | 7,4 | 382,6 | 11,1 | 37,9 | 65,1 | 34,9 |
| | 75 | 6,76 | 2.601 | | | | | | | | | | | | 58,3 | 7,3 | 84,7 | 33,7 | 6,1 | 11,7 | 342,2 | 15,8 | 60,1 | 95,1 | 91,0 |
| | 90 | 13,21 | 5.079 | | | | | | | | | | | | 86,2 | 12,6 | 125,1 | 55,3 | 10,0 | 18,5 | 381,8 | 22,6 | 102,9 | 146,8 | 143,8 |
| | 105 | 17,42 | 6.702 | | | | | | | | | | | | 103,7 | 15,9 | 156,5 | 76,0 | 13,9 | 21,0 | 574,7 | 26,0 | 133,4 | 197,1 | 169,0 |
| 120 | 26,75 | 10.289 | | | | | | | | | | | | 149,0 | 24,4 | 212,3 | 93,3 | 18,1 | 32,2 | 722,0 | 38,9 | 200,5 | 246,8 | 227,2 | |
| Total Cosecha | | | 10.289 | | | | | | | | | | | | 149,0 | 24,4 | 212,3 | 93,3 | 18,1 | 32,2 | 722,0 | 38,9 | 200,5 | 246,8 | 227,2 |
| % del total | | | | | | | | | | | | | | | 69 | 84 | 65 | 40 | 59 | 79 | 30 | 63 | 82 | 56 | 72 |