

Movilización de AG_3 , TDZ y urea asperjados en cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller)

Uptake of AG_3 , TDZ and urea sprayed in cladodes of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller)

A.B. Sánchez-Urdaneta¹ y C.B. Peña-Valdivia²

¹Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (LUZ). Av. Ziruma, Ciudad Universitaria, Núcleo Agropecuario. Maracaibo, Venezuela. ²Botánica, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, México.

Resumen

En la aplicación foliar de productos, deben considerarse la fuente de nutrimento, concentración, dosis óptima, tiempo de aplicación, compatibilidad y tamaño de la gota, para mejorar su penetración. Se evaluó la tasa de movilización de AG_3 , TDZ y urea después de ser asperjados sobre cladodios de tres cultivares de nopal (*Opuntia ficus-indica*). El estudio se condujo en Montecillo, México. La tasa de movilización se evaluó indirectamente con una mezcla de colorante-surfactante, rodamina B-tween 20. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos y cuatro repeticiones. El colorante penetró a una tasa similar ($51,37\text{mm}\cdot 0,5\text{h}^{-1}$) en Moradaza y Solferino. La penetración del AG_3 , TDZ y urea fue diferente entre sí y entre los cultivares; las mayores tasas de penetración correspondieron a Moradaza.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*, cladodios, aplicación foliar.

Abstract

In the products foliar application, they must be considered the nutriment source, concentration, ideal dose, application time, drop compatibility and size, in order to improve its penetration. The mobilization rate of AG_3 , TDZ and urea sprinkled over cladodes of three cultivars of Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) was evaluated. The study was carried out in "Montecillo", Mexico. The mobilization rate was indirectly quantified using a dye-surfactant mixture, rhodamine B-tween 20. A complete random experimental design with factorial

arrangements of treatments and four repetitions were used. Dye rate penetrated was similar in "Moradaza" and "Solferino" ($51.37\text{mm}\cdot 0.5\text{h}^{-1}$). The AG_3 , TDZ and urea penetration was different among them and cultivars; the highest penetration rates corresponded to "Moradaza".

Key words: *Opuntia ficus-indica*, cladodes, foliar application.

Introducción

El nopal es una especie nativa del continente americano (Bravo-Hollis, 1978) y actualmente tiene distribución mundial amplia (Reyes *et al.*, 2004), es reconocida como la cactácea con mayor importancia económica (Nobel *et al.*, 2002), pues existen 3,5 millones de hectáreas de nopaleras silvestres y más de 1,5 millones de hectáreas cultivadas con nopal, de éstas el 88,39% se destinan a la producción de forraje, 6,25% a la obtención de tuna, 4,64% a la producción de grana de cochinilla y 0,72% a la producción de nopalitos.

La penetración de las sustancias a través de la cutícula se debe a un proceso de difusión, donde la temperatura y el gradiente de concentración son determinantes. La capacidad de translocación de los cationes depende del radio de hidratación del ión, es mayor para Cs^+ , Rb^+ , K^+ , Na^+ , Li^+ y más lenta para Mg^{2+} , Sr^{2+} y Ca^{2+} . La penetración de compuestos orgánicos es inversa a su masa molecular (Hasegawa, 2009). Marschner (2002) clasificó los nutrimentos minerales según su movilidad en el floema, en este caso el potasio, magnesio, fósforo, azufre, nitrógeno, cloro y sodio tuvieron las movilidades mayores, otros microelementos, como el hierro, zinc, cobre, boro y molibdeno tuvieron movilidades intermedias, y el calcio y manganeso tuvieron una movilidad

Introduction

Prickly pear is one native specie of American continent (Bravo-Hollis, 1978) and nowadays has a wide world distribution (Reyes *et al.*, 2004), recognized like the most important cactus since the economical point of view (Nobel *et al.*, 2002), because there are 3.5 millions of ha of wild Prickly pear plants and more of 1.5 millions of ha cultivated with Prickly pear; 88.39% are guided to the forage production, 6.25% to the tuna obtaining, 4.64% to the "cochineal scarlet" production and 0.72% to the "Prickly pearitos" production.

Penetration of substances through cuticle is caused by a process of diffusion, where temperature and gradient of concentration are determinant. The cations translocation capacity depends on ion hydration ratio, it is high for Cs^+ , Rb^+ , K^+ , Na^+ , Li^+ and lower for Mg^{2+} , Sr^{2+} and Ca^{2+} . Penetration of organic compounds is inverse to its molecular mass (Hasegawa, 2009). Marschner (2002) classified mineral nutrients according to its mobility in phloem, in this case, potassium, magnesium, phosphorous, sulphur, nitrogen, chloride and sodium had the higher mobilizations, other micro elements, like iron, zinc, copper, boron and molybdenum had intermediate mobilizations, and calcium and manganese had low mobilization.

baja. El autor citado indicó que la movilización desde los tejidos de las hojas tratadas hacia otras estructuras de la planta ocurrió por el floema.

Se ha propuesto que la movilización de compuestos hidrófilos desde la cutícula involucra los polisacáridos de las paredes celulares, como las pectinas y la celulosa (Popp *et al.*, 2005; Riederer, 2006). Además, la forma y naturaleza del ingrediente activo depositado y su interacción con la superficie de la hoja juega un papel decisivo en el proceso de penetración (Bukovac *et al.*, 2003). En este contexto, un factor con atención creciente es la influencia del área o tamaño de la gota de los productos agroquímicos asperjados sobre las hojas (Mercer, 2007). La extensión de la gota es determinada por características de la solución de rocío (la viscosidad y la tensión superficial; Bukovac *et al.*, 2002). En la aplicación foliar de productos, varios factores deben ser considerados: tipo de compuesto, concentración de los solutos, dosis óptima, tiempo de aplicación, compatibilidad de los productos, sistemas de aspersión y tamaño de la gota, entre otros (Roth, 1988). El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la penetración foliar de tiazurón (TDZ), ácido giberélico (AG₃) y urea en cladodios de nopal (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller).

Materiales y métodos

Material vegetal

Se recolectaron cladodios de un año de edad, de los cultivares Moradaza y Solferino, en Tecamac, estado de México, y de Floreadora, del Campo Experimental San José del

The author cited that mobilization from tissues of leaves treated toward other plant structures occurred by phloem.

It has been proposed that mobilization of hydrophilic compounds from cuticle involves polysaccharides of cellular walls like pectins and cellulose (Popp *et al.*, 2005; Riederer, 2006). Also, shape and nature of active ingredient and its interaction with leaf surface play a main role in penetration process (Bukovac *et al.*, 2003). A factor with increasing attention is the influence of area or size of drop of agro chemical products sprayed on leaves (Mercer, 2007). The drop extension is determined by characteristics of spray solution (viscosity of superficial tension; Bukovac *et al.*, 2002). In foliar application of products, several factors have to be considered: type of compound, solute concentration, optimum doze, application time, compatibility of products, spraying systems and drop size, among others (Roth, 1988). This study had as purpose to evaluate the effect of foliar penetration of thiazuron (TDZ), gibberellic acid (AG₃) and urea in prickly pear cladodes (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller).

Materials and methods

Vegetal material

Cladodes of one year, of age cultivars "Moradaza" and "Solferino", were collected in Tecamac, México state, and "Floreadora", from Experimental Field San José of Colegio de Postgraduados, Montecillo, México

Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. El estudio fue realizado en este último sitio.

Los cladodios fueron colocados en la sombra por 15 días y en la base se les aplicó pasta bordelesa, luego fueron plantados en macetas de 19 L, con sustrato, formado por una mezcla de hojarasca, tierra negra y agrolita (1:1:1). Los cladodios fueron utilizados una vez que habían enraizado; además, fueron orientados en sentido este-oeste.

Aplicación de compuestos

Se seleccionó el colorante rodamina B debido a que presenta solubilidad alta cuando está mezclado con los reguladores de crecimiento seleccionados para el estudio y la urea. Lo anterior fue evaluado mediante pruebas preliminares con colorantes fluorescentes como la rodamina B, rojo Congo, quinacrina y azul de alanina en diferentes concentraciones. Twin 20 fue seleccionado como surfactante en las mezclas.

Las siguientes mezclas fueron preparadas: testigo (rodamina B (Merck) 2,5 g.L⁻¹ + twin 20 0,2 mL.L⁻¹), TDZ 20 mL.L⁻¹ (20 ppm) + rodamina B 2,5 g.L⁻¹ + twin 20 0,2 mL.L⁻¹; AG₃ 50 mg.L⁻¹ (50 ppm) + rodamina B 2,5 g.L⁻¹ + twin 20 0,2 mL.L⁻¹ y urea de bajo biuret (<0,03%) 150 g.L⁻¹ (15%) + rodamina B 2,5 g.L⁻¹ + twin 20 0,2 mL.L⁻¹.

Los productos se aplicaron con un atomizador sobre los cladodios a las 7:00 am. Se utilizaron cuatro cladodios de cada cultivar, y fueron incluidas cuatro repeticiones. Se muestrearon secciones de la parte superior de los cladodios 30 min, 4, 8 y 12 horas después de la aspersión.

The study was conducted in the latter site.

Cladodes were placed in shadow during 15 days and Bordeaux mixture was added in base, after they were planted in pots of 19 L, with substrate, formed by a mixing of fallen leaves, black sand and agrolita (1:1:1). Once rooted, cladodes were used; after, they were guided on east-west sense.

Compound application

The dye rhodamine B was selected because shows a high solubility when is mixed with growth regulators selected for the study and urea. This was evaluated through preliminary tests with fluorescent dyes like rhodamine B, red «Congo», quinacrine and Alanine blue in different concentrations. Twin 20 was selected like surfactant in mixings.

The following samples were prepared: control (rhodamine B (Merck) 2.5 g.L⁻¹ + twin 20 0.2 mL.L⁻¹), TDZ 20 mL.L⁻¹ (20 ppm) + rhodamine B 2.5 g.L⁻¹ + twin 20 0.2 mL.L⁻¹; GA₃ 50 mg.L⁻¹ (50 ppm) + rhodamine B 2.5 g.L⁻¹ + twin 20 0.2 mL.L⁻¹ and urea of low Biuret (<0.03%) 150 g.L⁻¹ (15%) + rhodamine B 2.5 g.L⁻¹ + twin 20 0.2 mL.L⁻¹.

Products were applied with a sprayer on cladodes at 7:00 am. Four cladodes from each cultivar were used, and four replications were included. Sections from superior part of cladodes were sampled 30 min, 4, 8 and 12 hours after spraying.

Mobilization monitoring

Once samples recollected, cuts of 0.5 x 0.5 cm approximately were done at the two cladodes by using tweezers and razors blades, the segments were deposited in base of a freezing

Seguimiento de la movilización

Una vez recolectadas las muestras, con ayuda de pinzas y hojillas se realizaron cortes en los cladodios de aproximadamente 0,5 x 0,5 cm, los segmentos se depositaron en la base de un micrótopo de congelamiento (American Optical, Modelo Spencer 880), de tal forma que al congelar y cortar, los cortes fueran longitudinales y con grosor de 25 μm . Los cortes se depositaron en portaobjetos con glicerol, luego se les colocó cubreobjetos para observarse al microscopio de luz y fluorescencia (POLIVAR) con un filtro V2.

Para evaluar la aplicación de los productos foliares se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos y cuatro repeticiones. Los factores y niveles de estudio fueron: aplicación foliar de productos con cuatro niveles (testigo, TDZ + rodamina B + twin 20, AG_3 + rodamina B + twin 20 y urea + rodamina B + twin 20) y cultivares de nopal con tres niveles (Floreadora, Moradaza y Solferino), generándose 12 tratamientos.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y subsecuente comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey para los efectos simples y LSM para las interacciones, para lo cual se utilizó el programa estadístico SAS[®] (Statistical Analysis System, 2004, version 9.1.3). La representación gráfica se realizó con el programa Sigma Plot de Jandel Scientific (2001, versión 7.1), para computadora personal.

microtome (American Optical, Model Spencer 880), such a way that when freezing and cutting, the cuts were longitudinal and with thickness of 25 μm . The cuts were deposited into slides with glycerol, after a cover slip was used to observe on light and fluorescence microscope (POLIVAR) with a V2 filter.

To evaluate the application of foliar products an experimental complete random design with factorial arrangement of treatments and four replications was used. The factors and study levels were: foliar application of products with four levels (control, TDZ + rhodamine B + twin 20, GA_3 + rhodamine B + twin 20 and urea + rhodamine B + twin 20) cultivars of prickly pear with three levels ("Floreadora", "Moradaza" and "Solferino"), generatius 12 treatments.

Data obtained were subjected to an analysis of variance and subsequent Tukey mean multiple comparison test for simple effects and LSMEANS for interactions, by using the statistical program SAS[®] (Statistical Analysis System, 2004, version 9.1.3). Graphic representation was accomplished with program Sigma Plot, Jandel Scientific (2001, version 7.1), for personal computer.

Results and discussion

Product mobilization rate

There were not statistical differences for the treatments interaction. At 30 min (7:30 am) after foliar products application, mobilization was similar ($P > 0.086$); however, urea penetrated more

Resultados y discusión

Tasa de movilización de los productos

No hubo diferencias estadísticas para la interacción de los tratamientos. A los 30 min (7:30 am) después de la aplicación foliar de los productos la movilización fue similar ($P>0,086$); sin embargo, la urea penetró más rápidamente (en promedio 18,85 mm.0.5 h⁻¹); presentando diferencias estadísticas entre los cultivares evaluadas ($P<0,005$), Moradaza y Solferino presentaron similar penetración de los productos (17,75 mm en promedio), pero fueron diferentes al cultivar Floreadora (13,89 mm; figura 1).

Cuando habían transcurrido 4 h (11:00 am) después de aplicados los productos, se presentaron diferencias estadísticas ($P<0,002$) entre la distancia recorrida por AG₃ (61,76 μm) y urea con respecto a TDZ y el testigo (24,4 μm) y las diferencias se observaron también entre los cultivares. La mayor penetración se presentó en el cv. "Moradaza" (55,38 μm) y la menor en "Solferino" (33,04 μm). Ocho horas (3:00 pm) después de la aplicación el AG₃, la urea y el TDZ igualaron la distancia recorrida (86,55; 81,66 y 67,00 μm, respectivamente), con diferencias estadísticas ($P<0,0004$) en comparación con el testigo (35,94 μm; $P>0,06$). A las 12 h (7:00 pm) después de aplicados los productos todos presentaron penetración (120 μm en promedio) similar, con excepción del testigo (45,71 μm) con diferencias estadísticas entre ellos ($P<0,0001$) y sin diferencias estadísticas ($P>0,148$) entre los cultivares (figuras 1A, B y C).

quickly (in average 18.85 mm.0.5 h⁻¹); showing statistical differences between cultivars evaluated ($P<0.005$), "Moradaza" and 'Solferino' showed similar products penetration (17.75 μm in average), but they were different to cultivar 'Floreadora' (13.89 μm; figure 1).

4 h (11:00 am) after products applied, statistical differences were showed ($P<0.002$) between distance covered by AG₃ (61,76 μm) and urea respect to TDZ and control (24.4 μm) and differences were also observed between cultivars. The higher penetration was observed in cv. "Moradaza" (55.38 μm) and the lower one in "Solferino" (33.04 μm). Eight hours (3:00 pm) after application of GA₃, urea and TDZ showed the same distance (86.55; 81.66 and 67.00 μm, respectively), with statistical differences ($P<0.0004$) in comparison to control (35.94 μm; $P>0.06$). At 12 h (7:00 pm) after products applied all of them showed penetration (120 mm in average) similar, with exception of control (45.71 μm) with statistical differences among them ($P<0.0001$) and without statistical differences ($P>0.148$) among cultivars (figures 1A, B and C).

In general, in control, the penetration products kinetics was very slow, perhaps because the same molecular mass of rhodamine B (479 PM) which could make more difficult its passing through the cuticle. All the products were more mobilized in cv. "Moradaza"; however, control of cv. "Solferino" 12 h after application was similar (51.36 μm) to cv. "Moradaza" (51.39 μm; figure 1B and 1C).

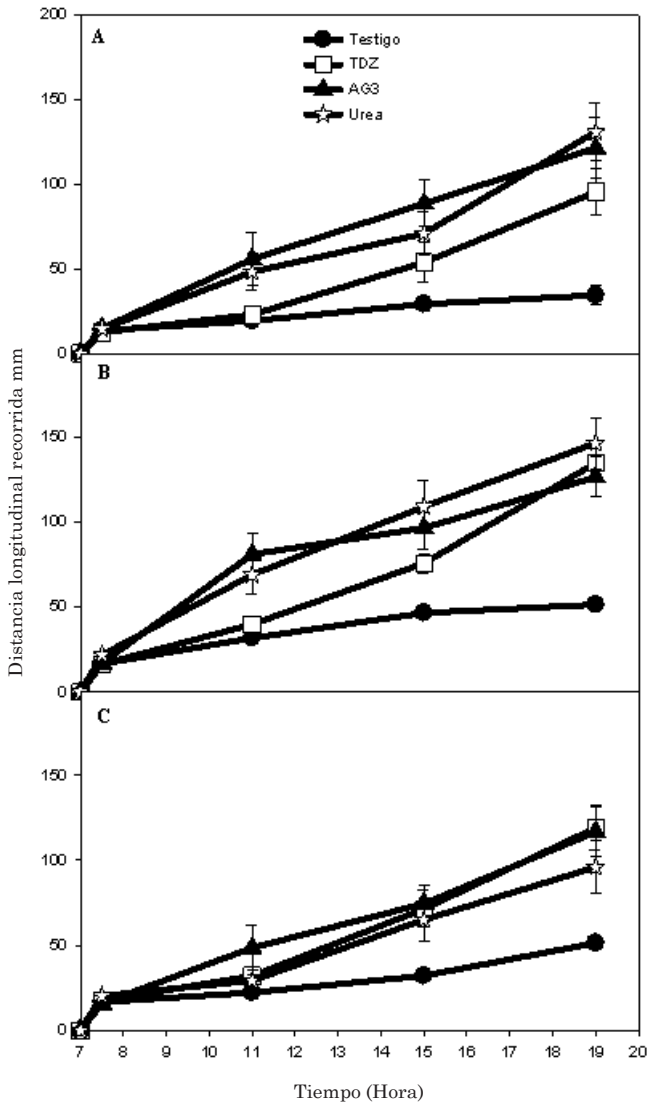


Figura 1. Movilización de los productos asperjados a cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) de los cultivares: A) Floreadora, B) Moradaza y C) Solferino, en diferentes tiempos de muestreo. Las líneas verticales indican el error estándar.

Figure 1. Mobilization of products sprayed to prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cladodes of cultivars: A) "Floreadora", B) "Moradaza" and C) "Solferino", in different sampling times. Vertical lines shows the standard error.

En general en el testigo la cinética de penetración de los productos fue muy lenta, quizás debido a la misma masa molecular de la rodamina B (479 PM) lo cual podría hacer más difícil su paso a través de la cutícula. Todos los productos se movilizaron más en el cv. "Moradaza"; no obstante, el testigo del cv. "Solferino" 12 h después de la aplicación fue similar (51,36 μm) al cv. "Moradaza" (51,39 μm ; figura 1B y 1C).

La penetración del TDZ fue más rápida en los cv. "Moradaza" y "Solferino" en todos los tiempos evaluados, que en el cv. "Floreadora". En el caso de AG_3 , la movilización fue más rápida en los cv. "Moradaza" y "Floreadora" que en el cv. "Solferino". Hecho similar a este se presentó con la urea (figuras 1A, 1B y 1C). Este comportamiento quizás podría ser explicado con el estudio de la anatomía de los cladodios, ya que el grosor de la cutícula, el grosor del colénquima y otros factores afecten la movilización de los productos.

El testigo del cv. "Floreadora" mostró penetración significativamente lenta, comparado con los otros productos evaluados. El AG_3 fue el producto que más rápido penetró en el cladodio, a las 8 h había alcanzado un poco más de 80 mm, la urea se comportó de manera similar al AG_3 ; sin embargo, a las 12 h había penetrado más que el AG_3 . El TDZ hasta las 4 h tuvo un comportamiento similar al testigo y comparado con los otros productos (AG_3 y urea) fue el de menor penetración. En este sentido, en el cv. "Solferino" la movilización de AG_3 y urea fue más lenta que en el resto de los cultivares (figura 1C).

The penetration of TDZ was faster in cv. "Moradaza" and "Solferino" in all the times evaluated, than in cv. "Floreadora". In case of GA_3 , the mobilization was faster in the cv. "Moradaza" and "Floreadora" than in cv. "Solferino". A similar behavior was observed in urea (figures 1A, 1B and 1C). Perhaps, this could be explained with the study of cladodes anatomy, since cuticle thickness, the collenchyma thickness and other factors affect products mobilization.

The control of cv. "Floreadora" showed penetration significantly slow, comparing to the other products evaluated. The GA_3 was the product that master penetrated in cladode, at 8 h had reaches little more than 80 m, the urea behave in similar way to the GA_3 ; nevertheless, at 12 h had penetrated more than GA_3 . The TDZ until 4 h had a behavior similar to the control and compared with the other products (GA_3 and urea) was lower penetration. In cv. "Solferino" the GA_3 and urea mobilization was slower than in the rest of cultivars (figure 1C).

"Moradaza" showed similar behavior to the cv. "Floreadora" (figures 1A and 1B). Control showed the lower mobilization, with approximately 40 μm to the 12 h. Also, in this cultivar, the TDZ at 4 h reached a penetration similar to control; however, at 12 h this was similar to the urea, reaching a longitude approximate of 120 μm . At 4 h, the GA_3 was showed the higher mobilization, approximately 80 mm and to 12 h its penetration was inferior to TDZ and urea.

"Moradaza" se comportó similar al cv. "Floreadora" (figuras 1A y 1B). El testigo presentó la menor movilización, con aproximadamente 40 μm a las 12 h. También en este cultivar, el TDZ a las 4 h alcanzó una penetración similar al testigo; no obstante, a las 12 h ésta fue similar a la urea, alcanzando una longitud de aproximadamente 120 μm . A las 4 h el AG_3 fue el que mostró la mayor movilización, de aproximadamente 80 μm y a las 12 h su penetración fue inferior a TDZ y urea.

En el caso del cv. "Solferino", al igual que en los otros cultivares el testigo tuvo menor movilización aproximadamente 40 μm a las 12 h. Los productos que tuvieron una mayor penetración fueron AG_3 y TDZ (aproximadamente 120 μm a las 12 h), mientras que la urea (aproximadamente 80 μm a las 12 h) tuvo una movilización intermedia entre los otros productos y el testigo (figura 1C).

Existen evidencias de que las formulaciones foliares con urea, además de ser utilizadas como fuente de nitrógeno, porque se absorbe y transloca rápidamente en la planta, incrementa la capacidad de penetración de otros iones hasta en 80%, por lo que se ha sugerido que esta puede modificar los enlaces de la cutina rompiendo uniones hidrofóbicas que permiten que se formen espacios en la cutina por donde pueden introducirse con facilidad otros iones que se agregan junto con ella (El-Fouly *et al.*, 1990; Acosta, 1991).

Por otro lado, la absorción óptima de productos aplicados foliarmente depende en gran parte

In case of cv. "Solferino", just like in the other cultivars, control had lower mobilization, approximately 40 μm at 12 h. Products having a higher penetration were GA_3 and TDZ (approximately 120 μm at 12 h), whereas urea (approximately 80 μm at 12 h) had an intermediate mobilization between the other products and control (figure 1C).

There are evidences about foliar formulations with urea, besides of being used like nitrogen source because it is quickly absorbed and moved in plant, increases the capacity of penetration of other ions until 80%, thus, it has been suggested that this can modify the cutin links by breaking hydrophobic union that permit the spaces formation in cutin through other ions can easily introduce on it (El-Fouly *et al.*, 1990; Acosta, 1991).

On the other hand, the optimum absorption of products applied on foliage depends on solution pH. The optimum value of pH for foliar applications has to be between pH of 5 and 7, depending on ion needed to be introduced on leaf (Rodríguez, 1997). The optimum absorption of urea occurs with pH between 5.4 and 6.6; however, the absorption of calcium decreases until 30% on acid pH (Swietlik and Faust, 1984). In general, the higher absorptions occur to values of low pH, because when the concentration of ions hydrogen is higher, the salts dissociation is also higher and there is more ionic activity, which makes easier penetration even in cuticle (Rodríguez, 1997).

The results suggest that penetration in prickly pear depended on characteristics of cultivars used

del pH de la solución. El valor óptimo de pH para las aplicaciones foliares debe estar entre pH de 5 y 7, dependiendo del ion que se requiera introducir a la hoja (Rodríguez, 1997). La absorción óptima de la urea ocurre con pH entre 5,4 y 6,6; no obstante, la absorción del calcio disminuye hasta 30% a pH ácido (Swietlik y Faust, 1984). En general, las mayores absorciones ocurren a valores de pH bajo, pues a mayor concentración de iones hidrógeno, mayor es la disociación de las sales y hay más actividad iónica, lo cual facilita la penetración incluso en la cutícula (Rodríguez, 1997).

Los resultados sugieren que en el nopal la penetración de los productos dependió de características inherentes a los cultivares utilizados (grosor de la cutícula, grosor del cladodio, entre otros), así como la naturaleza misma del producto; sin embargo, no se puede descartar la importancia que juegan las condiciones ambientales presentes al momento de la aplicación así como también durante el resto del día.

Conclusiones

La movilización de AG_3 , TDZ y urea, por aspersión de soluciones con un surfactante en cladodios de nopal fue dependiente del cultivar y tipo de molécula aplicada; aunque, otros factores, como el espesor y composición de los tejidos y el ambiente de desarrollo de la planta (datos no presentados), podrían también tener efecto en la capacidad y velocidad de penetración de los compuestos.

(cuticle thickness, cladode thickness, among others), like the nature of product; nevertheless, the importance of environmental conditions can not be discarded at the moment of application just like during the rest of day.

Conclusions

Mobilization of GA_3 , TDZ and urea, by spraying of surfactant solutions in Prickly pear cladodes was depending on cultivar and type of molecule applied; even though, other factors, like thickness and tissues composition and the environment of plant development (not shown data), could have an effect on capacity and velocity of compound penetration.

End of english version

Literatura Citada

- Acosta Z., C. 1991. Mecanismos de absorción foliar de nutrimentos. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México. 68 p.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Vol. 1. 743 pp.
- Bukovac, M.J., J.A. Cooper, R.E., Whitmoyer y R.D. Brazee. 2002. Spray application plays a determining role in performance of systemic compounds applied to the foliage of fruit plants. *Acta Hort.* 594:65-75.
- Bukovac, M.J., J.A. Cooper, R.E., Whitmoyer y R.D. Brazee. 2003. Pesticide delivery: multiple role of adjuvants in foliar application of systemic compounds. Pesticide formulations and delivery systems: meeting the challenges of the current crop protection industry. ASTM STP 1430:91-107.

- El-Fouly, M.M., A.F.A. Fawzi, Z.M. Mobarak, E.A. Aly y F.E. Abdalla. 1990. Micronutrient foliar intake by different crop plants, as affected by accompanying urea. pp. 267-273. En: vann Beusechem, M.L. (Ed.). Plant nutrition, physiology and applications. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Hasegawa, H., H. Tsukada, H. Kawabata, Y. Chikuchi, Y. Takaku y S. Hisamatsu. 2009. Effect of the counter anion of cesium on foliar uptake and translocation. *Journal of Environmental Radioactivity* 100:54-57.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition in higher plants. Second ed. Academic Press, London. 880 p.
- Mercer, G.N. 2007. A simple diffusion model of the effect of droplet size and spread area on foliar uptake of hydrophilic compounds. *Pest. Biochem. Physiol.* 88:128-133.
- Nobel, P.S., E. Pimienta-Barrios, J. Zañudo-Hernández y B.C. Ramírez-Hernández. 2002. Historical aspects and net CO₂ uptake for cultivated crassulacean acid metabolism plants in Mexico. *Ann. Appl. Biol.* 140:133-142.
- Popp, C., M. Burghardt, A. Friedmann y M. Riederer. 2005. Characterization of hydrophilic and lipophilic pathways of *Hedera helix* L. cuticular membranes: permeation of water and uncharged organic compounds. *J. Exp. Bot.* 56:2797-2806.
- Reyes A., J.A., J.R. Aguirre R. y C.F. Carlin. 2004. Análisis preliminar de la variación morfológica de 38 variantes mexicanas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. pp. 255-275. En: G. Esparza F., R.D. Valdéz C. y S. de J. Méndez G. (Eds.). El nopal. Tópicos de actualidad. Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados.
- Riederer, M. 2006. Thermodynamics of the water permeability of plant cuticles: characterization of the polar pathway. *J. Exp. Bot.* 57:2937-2942.
- Rodríguez Mendoza, M. de las N. 1997. Fertilización foliar en el cultivo del tomate en condiciones de invernadero. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 140 p.
- Roth, L.O. 1988. Application technology. En: Plant growth and leaf-applied chemicals. P.M. Newman (Ed.). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS OnlineDoc® 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SigmaPlot of Jandel Scientific. 2001. User's guide. Flying Raichu von. Version 7.1. SPSS Science Inc. 435 p.
- Swietlik, D. y M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. *Hort. Rev.* 7:287-355.