

# Sulfentrazone formulations and herbicides for weed control in tobacco production systems

## Formulaciones de sulfentrazona y herbicidas para control de malezas en sistemas de producción de tabaco

Jessiane Mary Jastrombek<sup>1\*</sup>; Dionatan Alan Amler<sup>2</sup>; Fabrício Flávio Amler<sup>2</sup>; Naiara Guerra<sup>3</sup>; Antonio Mendes de Oliveira-Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, Lages, Santa Catarina, C. P. 88520-000, BRASIL.

<sup>2</sup>Instituto Federal Catarinense. Estrada do Redentor, 5665, Rio do Sul, Santa Catarina, C. P. 89163-356, BRASIL.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Catarina. Rodovia Ulysses Gaboardi, 3000, Curitibaanos, Santa Catarina, C. P. 89520-000, BRASIL.

\*Corresponding author: jessianej@hotmail.com

### Abstract

Sulfentrazone is one of the main pre-emergent herbicides used in tobacco plantations. The objective of this work was to evaluate the selectivity and efficiency of sulfentrazone-based formulations in two tobacco production systems (conventional tillage system [CTS] and no-tillage system [NTS]). Two experiments were conducted (CTS and NTS) in a randomized block design, with seven treatments and four replications. The herbicide treatments were: T1 = Boral<sup>®</sup> 500 SC (400 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone), T2 = PonteiroBR<sup>®</sup> (400 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone), T3 = Stone<sup>®</sup> (350 + 700 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone and diuron, respectively), T4 = Boral<sup>®</sup> 500 SC + Gamit<sup>®</sup> 360 CS (792 g·ha<sup>-1</sup> of clomazone), T5 = PonteiroBR<sup>®</sup> + Gamit<sup>®</sup> 360 CS, T6 = Stone<sup>®</sup> + Gamit<sup>®</sup> 360 CS, and T7 = control (manual weeding). Phytotoxicity in tobacco plants and weed control efficiency were visually evaluated 14, 28, 42, and 56 days after application (daa) of the treatments. Emerged weed plants per m<sup>2</sup> were counted 56 daa. Tobacco yield was evaluated by determining the yield per third of the plant (lower, middle, and upper thirds) and the total yield (sum of the yields from each third). The sulfentrazone formulations were efficient in weed control. The herbicide Stone<sup>®</sup> applied alone or mixed with Gamit<sup>®</sup> caused mild phytotoxicity in plants under NTS, but no yield losses. No significant difference was found in yield among treatments; however, the yield of the upper third of the plant was higher for plants under NTS, affecting the total yield. The sulfentrazone formulations used provided efficient weed control and selectivity to tobacco plants. The use of NTS resulted in higher yields.

**Keywords:** chemical control, *Nicotiana tabacum*, conventional tillage system, no-tillage system.

### Resumen

La sulfentrazona es uno de los principales herbicidas utilizado en plantaciones de tabaco. El objetivo de este estudio fue evaluar la selectividad y eficiencia de formulaciones basadas en sulfentrazona en dos sistemas de producción de tabaco (sistema convencional de labranza [SCL] y sistema de labranza cero [SLC]). Se realizaron dos experimentos (SCL y SLC) en un diseño de bloques aleatorizados, con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 = Boral<sup>®</sup> 500 SC (400 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazona), T2 = PonteiroBR<sup>®</sup> (400 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazona), T3 = Stone<sup>®</sup> (350 + 700 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazona y diurón, respectivamente), T4 = Boral<sup>®</sup> 500 SC + Gamit<sup>®</sup> 360 CS (792 g·ha<sup>-1</sup> de clomazona), T5 = PonteiroBR<sup>®</sup> + Gamit<sup>®</sup> 360 CS, T6 = Stone<sup>®</sup> + Gamit<sup>®</sup> 360 CS y T7 = testigo (deshierbe manual). La fitotoxicidad en las plantas de tabaco y la eficiencia en el control de malezas fueron evaluadas visualmente a los 14, 28, 42 y 56 días después de la aplicación (dda). Las malezas emergidas se contaron por m<sup>2</sup> 56 dda. El rendimiento de tabaco se evaluó por tercio de la planta (inferior, medio y superior) y total (suma de los rendimientos de cada tercio). Las formulaciones de sulfentrazona fueron eficientes en el control de malezas. El herbicida Stone<sup>®</sup> aplicado solo o con Gamit<sup>®</sup> generó fitotoxicidad moderada en las plantas bajo SLC, pero sin pérdidas de rendimiento. No se encontraron diferencias significativas en rendimiento entre los tratamientos; sin embargo, el rendimiento del tercio superior de la planta fue más alto bajo SLC, afectando el rendimiento total. Las formulaciones de sulfentrazona ofrecieron un control eficiente de malezas y buena selectividad de las plantas de tabaco. El uso del SLC derivó en rendimiento más altos.

**Palabras clave:** control químico, *Nicotiana tabacum*, sistema de labranza convencional, sistema de labranza cero.

Please cite this article as follows (APA 7): Jastrombek, J. M., Amler, D. A., Amler, F. F., Guerra, N., & de Oliveira-Neto, A. M. (2024). Sulfentrazone formulations and herbicides for weed control in tobacco production systems. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 30(3) 35-46. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.04.005>



Revista Chapingo  
Serie Horticultura

## Introduction

Tobacco plants are from the family Solanaceae, whose main commercial representative is the species *Nicotiana tabacum* L., which can synthesize nicotine (Silva-Vignoli & Mentz, 2005; Bailey, 2013). Brazil is the world's largest exporter and the third-largest producer of tobacco; approximately 80 % of Brazilian tobacco production is intended for export (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). The South of Brazil is the main tobacco producing region in the country (Becker et al., 2020). This region was responsible for a production of 560,181 kg of leaf tobacco in 246,590 ha in the 2021/2022 harvest season, involving 128,448 growers (Associação dos Produtores de Fumo do Brasil [Afubra], 2022). Rio Grande do Sul is the main tobacco producing state in Brazil, responsible for 44.2 % of the national production, followed by Santa Catarina (30.7 %), and Paraná (25.1 %) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022). Considering the total tobacco grown in the South region of Brazil, the mean yield was 2,272 kg·ha<sup>-1</sup> in the 2021/2022 harvest (Afubra, 2022).

In Brazil, tobacco is produced mainly on small rural properties by family farmers, which perform all production phases manually (Vargas & Oliveira, 2012). The main tobacco varieties used are Virginia (91.5 %) and Burley (7.5 %) (SindiTabaco, 2022), and the crop is cultivated in sloping to undulating areas, with soil and climate favorable. These producing farms usually grown other species, such as grasses for pastures, maize, common bean, and vegetable crops, in addition to tobacco, which is grown in 2 to 4 ha due to its high profitability (Antoneli & Bednarz, 2011; Becker et al., 2020).

Tobacco has been produced in integrated production systems involving companies and growers. The development of technologies and research has increasingly improved production, resulting in increased tobacco quality and yield (Silveira, 2015). This improvement may be connected to methods and techniques of cultivation, such as use of the no-tillage system (NTS), which causes less soil mobilization (Antoneli & Thomaz, 2014).

Tobacco is usually cultivated on ridges to promote better root development (Antoneli et al., 2016). Under NTS, the plant cover is desiccated and its straw on the ground keeps the soil covered. Thus, weeds are controlled with the application of herbicides, avoiding soil turning by plowing or manual weeding (Antoneli & Thomaz, 2014). According to Ritter et al. (2005), the presence of weeds decreases tobacco yield by 25 %, as they directly affect leaf yield. In addition, weeds hold pathogens, insects and nematodes, and they also

## Introducción

Las plantas de tabaco pertenecen a la familia Solanaceae, y su principal especie representativa es *Nicotiana tabacum* L., la cual tiene la capacidad de sintetizar nicotina (Silva-Vignoli & Mentz, 2005; Bailey, 2013). Brasil es el principal exportador y el tercer mayor productor de tabaco; aproximadamente 80 % de la producción brasileña se exporta (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). El sur de Brasil es la principal región productora (Becker et al., 2020), con 560,181 kg de hoja de tabaco en 246,590 ha en la cosecha 2021/2022, con la participación de 128,448 productores (Associação dos Produtores de Fumo do Brasil [Afubra], 2022). Río Grande del Sur es el principal estado productor de Brasil, con 44.2 % de la producción nacional, seguido de Santa Catarina (30.7 %) y Paraná (25.1 %) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022). Considerando la productividad total de tabaco en el sur de Brasil, el rendimiento promedio fue de 2,272 kg·ha<sup>-1</sup> en la cosecha 2021/2022 (Afubra, 2022).

En Brasil, el tabaco es producido principalmente en zonas rurales como agricultura familiar, y todas las etapas de la producción se desarrollan de manera manual (Vargas & Oliveira, 2012), en áreas inclinadas y onduladas, con suelos y clima adecuados para su desarrollo. Las principales variedades de tabaco utilizadas son Virginia (91.5 %) y Burley (7.5 %) (SindiTabaco, 2022). En los campos agrícolas usualmente se cultivan otras especies, como pastos para forrajes, maíz, frijol y cultivos hortícolas, además de tabaco, el cual se cultiva en 2 a 4 ha debido a su alta rentabilidad (Antoneli & Bednarz, 2011; Becker et al., 2020).

El tabaco se obtiene bajo sistemas de producción integrados, al involucrar empresas y tabacaleros. El desarrollo de tecnologías e investigación ha mejorado la calidad y el rendimiento del tabaco (Silveira, 2015). Estas mejoras pueden estar relacionadas con los métodos y las técnicas de cultivo, como el sistema de labranza cero (SLC), en el cual se reduce la manipulación del suelo (Antoneli & Thomaz, 2014).

El tabaco se cultiva usualmente en surcos para promover el desarrollo de las raíces (Antoneli et al., 2016). Bajo SLC, la cobertura vegetal se seca y la paja generada cubre el suelo; por ello, las malezas se controlan con herbicidas, para evitar remover el suelo mediante deshierbes con arado o manuales (Antoneli & Thomaz, 2014). De acuerdo con Ritter et al. (2005), la presencia de malezas disminuye el rendimiento del tabaco en 25 %, ya que éstas afectan directamente el rendimiento de las hojas. Asimismo, las malezas hospedan patógenos, insectos y nematodos, y dificultan las labores culturales. Bailey (2013) reportó

make cultural practices difficult. Bailey (2013) reported decreases between 28 to 40 % in total tobacco yield when compared to that found in plots treated with herbicides.

Despite the importance of herbicide application for tobacco production, only five active ingredients are currently registered for pre-emergence application on tobacco plantations for controlling weeds (Agrofit, 2023), including sulfentrazone and clomazone, which are the most used by tobacco growers (Clapp et al., 2022). However, no single herbicide can effectively control all the weeds that can occur in these plantations, thus requiring the application of combinations of different active ingredients (Bailey, 2013).

Sulfentrazone is a pre-emergent herbicide from the chemical group of isoxazolidinones and is recommended for application to tobacco plantation areas to control weed species of the Magnoliopsida and Liliopsida classes (Pekarek et al., 2010; Clapp et al., 2022). Clomazone is a herbicide from the chemical group of isoxazolidinones and inhibits the enzyme deoxy-D-xylulose-5-P synthase (DXS), causing bleaching in sensitive plants; it is recommended for pre- and post-emergence applications to tobacco plantation areas to control annual grass species (Bailey, 2013; Darwish et al., 2015).

Successful chemical weed control depends on the selectivity of herbicides (Clapp et al., 2022). According to Dan et al. (2011), this selectivity is based on the ability of the plant to metabolize herbicide molecules without damages to the plant, which is determined by the herbicide characteristics, rate used, and formulation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the selectivity and efficiency of sulfentrazone-based formulations and herbicides in two tobacco production systems (conventional tillage system [CTS] and no-tillage system [NTS]).

## Material and methods

### Experimental area

The experiments were conducted in a commercial tobacco plantation area in the rural community of Garrafao, Imbuia, Santa Catarina, Brazil (27° 29' 25" S, 49° 23' 49" W, and 780 m a. s. l.) from September 2020 to March 2021. The soil of the area was classified as Haplustepts (Cambissolo Háplico Tb Distrófico) (Embrapa, 2018). The chemical analysis of the 0.0 to 0.2 m soil layer showed pH in water of 5.3, 47 % clay, 0.9 % organic material, P of 13.1 mg·dm<sup>-3</sup>, K of 213.8 mg·dm<sup>-3</sup>, Al of 0.5 cmolc·dm<sup>-3</sup>, cation exchange capacity of 19.03 cmolc·dm<sup>-3</sup>, and base saturation of 72.70 %. The climate of the region is Cfa, humid

disminuciones de entre 28 y 40 % en el rendimiento total de tabaco cuando se comparó con un cultivo tratado con herbicidas.

A pesar de la importancia de la aplicación de herbicidas en la producción de tabaco, solamente están registrados cinco ingredientes activos para la aplicación en pre-emergencia en plantaciones tabacaleras (Agrofit, 2023), incluyendo sulfentrazone y clomazone, que son los más utilizados por los tabacaleros (Clapp et al., 2022). No obstante, ningún herbicida puede controlar efectivamente todas las malezas presentes en las plantaciones; por ello, se aplican combinaciones de varios ingredientes activos (Bailey, 2013).

La sulfentrazone es un herbicida de pre-emergencia, perteneciente al grupo de las aril triazolinonas, y se recomienda en plantaciones de tabaco para controlar especies no deseadas de las clases Magnoliopsida y Liliopsida (Pekarek et al., 2010; Clapp et al., 2022). La clomazone es un herbicida del grupo de las aril triazolinonas, e inhibe la enzima desoxi-D-xilulosa-5-P-sintasa (DXS), que causa cloración en plantas sensibles. Este herbicida se recomienda para aplicaciones en pre- y pos-emergencia en plantaciones de tabaco para controlar especies anuales de pastos (Bailey, 2013; Darwish et al., 2015).

El control químico exitoso de malezas depende de la selectividad de los herbicidas (Clapp et al., 2022). De acuerdo con Dan et al. (2011), dicha selectividad se basa en la habilidad de la planta para metabolizar moléculas del herbicida sin generar daños para la planta, lo cual depende de las características del herbicida, la dosis y la formulación. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la selectividad y eficiencia de formulaciones basadas en sulfentrazone y herbicidas en dos sistemas de producción de tabaco (sistema convencional de labranza [SCL] y sistema de labranza cero [SLC]).

## Materiales y métodos

### Área experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en un área de plantaciones de tabaco comercial ubicada en Garrafao, Imbuia, Santa Catarina, Brasil (27° 29' 25" S y 49° 23' 49" O, a 780 m s. n. m.), de septiembre de 2020 a marzo de 2021. El suelo del área se clasificó como Haplustepts (Cambisol Háplico Tb Distrófico) (Embrapa, 2018). El análisis químico de la capa del suelo entre 0.0 y 0.2 m presentó pH en agua de 5.3, 47 % arcilla, 0.9 % de materia orgánica, P de 13.1 mg·dm<sup>-3</sup>, K de 213.8 mg·dm<sup>-3</sup>, Al de 0.5 cmolc·dm<sup>-3</sup>, capacidad de intercambio catiónico de 19.03 cmolc·dm<sup>-3</sup> y saturación de bases de 72.70 %. El clima de la región es húmedo subtropical (Cfa), de acuerdo con la clasificación

subtropical, according to the Köppen-Geiger climate classification, with a mean annual temperature of 19.1 °C and mean annual rainfall depth of 1,530 mm (Embrapa, 2012).

### Experimental design and treatments

Two experiments were conducted under two different tillage systems (CTS and NTS), using a randomized block design with seven treatments and four replications. The treatments consisted of the following formulations: T1 = Boral® 500 SC (400 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone), T2 = PonteiroBR® (400 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone), T3 = Stone® (350 + 700 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone and diuron, respectively), T4 = Boral® 500 SC + Gamit® 360 CS (792 g·ha<sup>-1</sup> of clomazone), T5 = PonteiroBR® + Gamit® 360 CS, T6 = Stone® + Gamit® 360 CS, and T7 = control (manual weeding). In addition, a side strip adjacent to the experimental area was maintained without application of herbicides to assist in weed control evaluations.

The plots consisted of three tobacco planting rows with 5-m length, totaling an area of 6.5 m<sup>2</sup> per plot. The plot evaluation area consisted of disregarding 0.5 m from the ends, totaling 5.2 m<sup>2</sup>. The total area of each experiment was 182 m<sup>2</sup>.

The treatments (herbicides) were applied at pre-planting of tobacco and pre-emergence of weeds, on September 18, 2020, in an apply and plant system. The herbicides were applied using a CO<sub>2</sub> pressurized backpack sprayer equipped with four AD110.02 nozzles, at a constant pressure of 207 kPa, travel speed of 1.0 m·s<sup>-1</sup>, and an application rate of 200 L·ha<sup>-1</sup>. Weather conditions during the applications were monitored by a digital thermo-hygrometer-anemometer: air temperature of 23 °C, relative air humidity of 66 %, wind speed of 2.5 km·h<sup>-1</sup>, and wet soil.

### Production systems and cultural practices

The area selected for experimenting CTS had been grown with black oats and ryegrass during the winter. It was subjected to CTS through two subsoiling operations 17 days before tobacco planting, and ridges were raised for planting tobacco seedlings. Regarding the area selected for conducting the experiment under NTS, soil tillage and ridging operations were performed as for the area under CTS, but in May 2020. Subsequently, black-oat seeds were broadcasted on the ground to provide soil cover during the winter and form straw for the following NTS. The black oat plants were desiccated with glyphosate (1,080 g·ha<sup>-1</sup>) on August 19, 2020, 30 days before planting tobacco seedlings, to form straw.

climática Köppen-Geiger. Con temperatura media anual de 19.1 °C y precipitación media anual de 1,530 mm (Embrapa, 2012).

### Diseño experimental y tratamientos

Se establecieron dos experimentos con dos diferentes sistemas de producción (SCL y SLC) bajo un diseño en bloques completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en las siguientes formulaciones: T1 = Boral® 500 SC (400 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone), T2 = PonteiroBR® (400 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone), T3 = Stone® (350 + 700 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone y diurón, respectivamente), T4 = Boral® 500 SC + Gamit® 360 CS (792 g·ha<sup>-1</sup> de clomazona), T5 = PonteiroBR® + Gamit® 360 CS, T6 = Stone® + Gamit® 360 CS y T7 = testigo (deshierbe manual). Asimismo, se mantuvo sin aplicación de herbicidas una franja lateral adyacente al área experimental para utilizarse en evaluaciones de control de malezas.

Las parcelas estuvieron conformadas por tres hileras de plantas de tabaco de 5 m de longitud, con un área total de 6.5 m<sup>2</sup> por parcela. El área de evaluación de la parcela consistió en descartar 0.5 m de las orillas (5.2 m<sup>2</sup> en total). El área total de cada experimento fue de 182 m<sup>2</sup>.

Los tratamientos se aplicaron el 18 de septiembre de 2020, previo a plantar el tabaco y a la emergencia de malezas, en un sistema de aplicación y planta. Los herbicidas se aplicaron mediante aspersión con una mochila presurizada con CO<sub>2</sub>, equipada con cuatro boquillas AD110.02, presión constante de 207 kPa, velocidad de desplazamiento de 1.0 m·s<sup>-1</sup> y dosis de aplicación de 200 L·ha<sup>-1</sup>. Las condiciones climáticas durante la aplicación se monitorearon con un termómetro-higrómetro-anemómetro: 23 °C en el aire, humedad relativa de 66 %, velocidad del viento de 2.5 km·h<sup>-1</sup> y suelo húmedo.

### Sistemas de producción y labores culturales

El área para realizar el experimento bajo SCL había sido cultivada con avena negra y *ryegrass* durante el invierno; por ello, se realizaron dos operaciones de subsolado 17 días antes de la plantación y se levantaron surcos para plantar el tabaco. En cuanto al área para el experimento bajo SLC, las operaciones de laboreo y surcado del suelo se realizaron como en el área del SCL, pero en mayo de 2020. Además, en este caso, se esparcieron semillas de avena negra sobre el suelo para ofrecer cobertura durante el invierno y paja para el próximo SLC. Las plantas de avena negra se secaron con glifosato (1,080 g·ha<sup>-1</sup>) el 19 de agosto de 2020, 30 días antes de plantar las plántulas de tabaco, para formar paja.

Tobacco seedlings (cultivar 416 of Souza Cruz) were transplanted manually to the soil on September 18, 2020, with spacing of 1.30 m between rows and 0.50 m between seedlings for a plant population of approximately 15,385 plants·ha<sup>-1</sup>.

Application of soil fertilizers at planting consisted of 760 kg·ha<sup>-1</sup> of NPK 10-16-10 formulation. Topdressing application was performed 21 days after transplanting, using 470 kg·ha<sup>-1</sup> of urea; and a second topdressing application was performed on November 02, 2020, using 1,340 kg·ha<sup>-1</sup> of a formulation consisting of Chile saltpeter (25-16-84), NPK (10-16-10), and potassium chloride.

Removal of tobacco flower buds (topping) was performed on December 27, 2020. Only one application of insecticide was carried out to control aphids during the crop cycle, on January 15, 2021, using the insecticide Talstar® 100 EC at rate of 25 mL·ha<sup>-1</sup>.

### Evaluations

Phytotoxicity symptoms in tobacco plants and efficiency in weed control were evaluated visually at 14, 28, 42, and 56 days after application (daa) of the herbicide treatments. Phytotoxicity was assessed using a scale of grades from 0 to 100 %, where 0 represents absence of symptoms and 100 denotes the death of the plant (Kuva et al., 2016). The efficiency of treatments with herbicides in controlling weeds was evaluated 56 dda by counting randomly emerged weeds in an area of 1 m<sup>2</sup> per plot. Weed control and weed density were evaluated considering the entire infesting community, which consisted of *Sida rhombifolia*, *Coronopus didymus*, *Ageratum conyzoides*, *Ipomoea triloba*, *Sonchus oleraceus*, *Raphanus raphanistrum*, and *Setaria parviflora*.

The tobacco harvest was carried out in three phases: leaves from the lower third of the plants were harvested on December 12, 2020; leaves from the middle third of the plants were harvested on January 8, 2021; and leaves from the upper third of the plants were harvested on February 11, 2021. Tobacco yield per third of the plant (lower, middle, and upper thirds) was determined after drying the leaves. The total yield was obtained by summing the yields found for each third of the plant.

The tobacco leaves were dried in a masonry drying barn (LL model) with a total area of 49 m<sup>2</sup>, consisting of two tiers, mechanically forced air circulation, and a brick furnace heated with wood. The temperature varied according to the stages of the drying process as follows: the temperature was maintained at 37.78 °C for 30 to 40 h for yellowing of the leaves; it was gradually increased from 37.78 to up to 54.44 °C over a period

Las plántulas de tabaco cultivar 416 de Souza Cruz se trasplantaron manualmente el 18 de septiembre de 2020, con separación de 1.30 m entre filas y 0.50 m entre plántulas, para una densidad de población de aproximadamente 15,385 plantas·ha<sup>-1</sup>.

La aplicación de fertilizantes al suelo durante el trasplante consistió en 760 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK 10-16-10. La primera aplicación de cobertura se realizó 21 días después del trasplante, con 470 kg·ha<sup>-1</sup> de urea. La segunda aplicación de cobertura se realizó el 2 de noviembre de 2020 con 1,340 kg·ha<sup>-1</sup> de una mezcla que contenía salitre de Chile (25-16-84), NPK (10-16-10) y cloruro de potasio.

La eliminación de botones florales (desbotonado) se realizó el 27 de diciembre de 2020. El 15 de enero de 2021, se realizó una aplicación de 25 mL·ha<sup>-1</sup> del insecticida Talstar® 100 EC para controlar áfidos durante el ciclo del cultivo.

### Evaluaciones

Los síntomas de fitotoxicidad en las plantas de tabaco y la eficiencia en el control de malezas se evaluaron visualmente a los 14, 28, 42 y 56 días después de la aplicación (dda) de los herbicidas. La fitotoxicidad se evaluó utilizando una escala de 0 a 100 %, donde 0 representa ausencia de síntomas y 100 implica la muerte de la planta (Kuva et al., 2016). La eficiencia de los tratamientos en el control de malezas se evaluó 56 dda; para ello, se contaron de manera aleatoria las malezas emergidas en 1 m<sup>2</sup> por parcela. El control de malezas y su densidad se evaluaron considerando toda la comunidad invasora, la cual estaba compuesta de *Sida rhombifolia*, *Coronopus didymus*, *Ageratum conyzoides*, *Ipomoea triloba*, *Sonchus oleraceus*, *Raphanus raphanistrum* y *Setaria parviflora*.

La cosecha se realizó en tres fases: las hojas del tercio inferior de las plantas se cosecharon el 12 de diciembre de 2020; las hojas del tercio medio, el 8 de enero de 2021, y las hojas del tercio superior, el 11 de febrero de 2021. El rendimiento de tabaco por tercio de la planta (inferior, medio y superior) se determinó después de secar las hojas. El rendimiento total se obtuvo mediante la suma de los rendimientos de cada tercio de la planta.

Las hojas de tabaco se secaron en un secadero de mampostería (modelo LL) de 49 m<sup>2</sup>, el cual constaba de dos niveles, circulación de aire forzado mecánicamente y un horno de ladrillo calentado con leña. La temperatura varió de acuerdo con las etapas del proceso de secado: primero se mantuvo a 37.78 °C durante 30 a 40 h para el amarilleo de las hojas, después se aumentó gradualmente hasta 54.44 °C y se mantuvo durante 55 a 68 h para secar las hojas, y finalmente se incrementó gradualmente hasta

of 55 to 68 h for drying the leaves; and it was gradually increased from 54.44 to up to 65.56 °C over a period of 60 h for drying the stems. The dried tobacco was stored in a warehouse.

### Statistical analysis

Considering the common structure of the experiments, the data were subjected to joint analysis. Thus, common factors were also considered, such as cultural practices, period in which the experiment was conducted, and edaphoclimatic conditions, among others. The order of magnitude of the residual mean squares from the individual analyses was followed (Banzatto & Kronka, 2008). The interaction between treatments and production systems was significant for most of the evaluated variables. Therefore, the decomposition of the interaction was performed by comparing means through Tukey's test. All analyses were based on a 5 % significance level ( $P < 0.05$ ).

### Results and discussion

Phytotoxicity symptoms were found only at 14 daa in plants under NTS, mainly for treatments with Stone® (T3) and Stone® + Gamit® (T6); however, the injuries were considered very mild (2.3 and 2.5 % phytotoxicity, respectively) (Table 1). According to Oliveira (2011), initial chlorosis is a symptom commonly found in plants after application of diuron. Zacharias et al. (2021) found a decrease in the initial growth of soybean plants following the application of sulfentrazone + diuron; however, this effect was transient and did not affect the crop yield.

The application of formulations containing only sulfentrazone or mixtures containing sulfentrazone and clomazone did not cause phytotoxicity in tobacco plants (Table 1). Ritter et al. (2005) found mild injuries in tobacco plants varying from 0 to 3 % following application of sulfentrazone + clomazone, but with no effects on plant quality and yield. Clapp et al. (2022) found decreased growth for tobacco plants after applying sulfentrazone + clomazone; however, the final yield was higher than that found in the control (with no herbicide application).

According to Fisher et al. (2006), the tolerance of tobacco plants to sulfentrazone is due to the metabolization process. They found that tobacco plants, when recently transplanted, can rapidly metabolize this herbicide, as 66 % of the total absorbed by the leaves was metabolized within 3 h after application. However, the metabolization rate in leaves is higher when sulfentrazone is combined with clomazone.

65.56 °C por 60 h para el secado de los tallos. El tabaco seco se almacenó en una bodega.

### Análisis estadístico

Considerando la estructura común de los experimentos, los datos se sometieron a análisis conjuntos; así, los factores comunes también se consideraron, como las labores culturales, el periodo del cultivo y las condiciones edafoclimáticas, entre otros. Se siguió el orden de magnitud de los cuadrados medios residuales de los análisis individuales (Banzatto & Kronka, 2008). La interacción entre tratamientos y sistemas de producción resultó significativa en la mayoría de las variables evaluadas. Por ello, se realizó una comparación de medias de Tukey. Todos los análisis se basaron en un nivel de significancia de 5 % ( $P < 0.05$ ).

### Resultados y discusión

Solamente se encontraron síntomas de fitotoxicidad a los 14 dda en plantas bajo SLC, principalmente en los tratamientos con Stone® (T3) y Stone® + Gamit® (T6); sin embargo, las lesiones se consideraron moderadas (2.3 y 2.5 % de fitotoxicidad, respectivamente) (Cuadro 1). De acuerdo con Oliveira (2011), la clorosis inicial es un síntoma que se encuentra comúnmente en las plantas después de la aplicación de diurón. Zacharias et al. (2021) encontraron una disminución en el crecimiento inicial de plantas de soya después de la aplicación de sulfentrazone + diurón; no obstante, este efecto fue transitorio y no afectó al rendimiento del cultivo.

La aplicación de formulaciones con sulfentrazone o mezclas de sulfentrazone y clomazona no causaron fitotoxicidad en las plantas de tabaco (Cuadro 1). Ritter et al. (2005) encontraron heridas moderadas en plantas de tabaco de 0 a 3 % después de la aplicación de sulfentrazone + clomazona, pero sin efectos sobre la calidad y el rendimiento de las plantas. Clapp et al. (2022) observaron una disminución en el crecimiento de las plantas de tabaco después de aplicar sulfentrazone + clomazona; sin embargo, el rendimiento final fue más alto que el encontrado en el testigo (sin aplicación de herbicida).

De acuerdo con Fisher et al. (2006), la tolerancia de las plantas de tabaco a la sulfentrazone se debe al proceso de metabolización. Estos autores encontraron que las plantas de tabaco pueden metabolizar rápidamente dicho herbicida cuando acaban de ser trasplantadas, ya que el 66 % del total absorbido por las hojas se metabolizó en las 3 h siguientes a la aplicación. No obstante, la tasa de metabolización en las hojas es más alta cuando la sulfentrazone se combina con clomazona.

**Table 1. Phytotoxicity (Phyto; %) in tobacco plants, efficiency in weed control (%), and weed density (Density; plants·m<sup>-2</sup>) under different tillage systems (CTS and NTS) and application of different sulfentrazone-based formulations and herbicide mixtures. Santa Catarina, Brazil (2020/2021 harvest season).**

**Cuadro 1. Fitotoxicidad (F. tox.; %) en plantas de tabaco, eficiencia en control de malezas (%) y densidad de malezas (Densidad; plantas·m<sup>-2</sup>) bajo diferentes sistemas de labranza (SCL y SLC) y aplicación de diferentes formulaciones de herbicidas. Santa Catarina, Brasil (temporada de cosecha 2020/2021).**

| Treatments /<br>Tratamientos | Phyto (14 daa) /<br>F. tox. (14 dda)   |           | Control (14 daa) /<br>Testigo (14 dda) |           | Control (28 daa) /<br>Testigo (28 dda)  |                      |
|------------------------------|----------------------------------------|-----------|----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|----------------------|
|                              | CTS / SCL                              | NTS / SLC | CTS / SCL                              | NTS / SLC | CTS / SCL                               | NTS / SLC            |
| T1                           | 0.0 aA                                 | 0.0 bA    | 100.0                                  | 100.0     | 99.0 aB                                 | 100.0 aA             |
| T2                           | 0.0 aA                                 | 0.0 bA    | 100.0                                  | 100.0     | 100.0 aA                                | 100.0 <sup>a</sup> A |
| T3                           | 0.0 aB                                 | 2.3 aA    | 100.0                                  | 100.0     | 100.0 aA                                | 100.0 aA             |
| T4                           | 0.0 aA                                 | 0.0 bA    | 100.0                                  | 100.0     | 100.0 aA                                | 100.0 aA             |
| T5                           | 0.0 aA                                 | 0.0 bA    | 100.0                                  | 100.0     | 100.0 aA                                | 100.0 aA             |
| T6                           | 0.0 aB                                 | 2.5 aA    | 100.0                                  | 100.0     | 100.0 aA                                | 100.0 aA             |
| T7                           | 0.0 aA                                 | 0.0 bA    | 100.0                                  | 100.0     | 100.0 aA                                | 100.0 aA             |
| CV (%)                       | 57.23                                  |           | -                                      |           | 0.13                                    |                      |
| Treatments /<br>Tratamientos | Control (42 daa) /<br>Testigo (42 dda) |           | Control (56 daa) /<br>Testigo (56 dda) |           | Density (56 daa) /<br>Densidad (56 dda) |                      |
|                              | CTS / SCL                              | NTS / SLC | CTS / SCL                              | NTS / SLC | CTS / SCL                               | NTS / SLC            |
| T1                           | 97.0 bB                                | 99.0 aA   | 96.0 bB                                | 99.0 aA   | 2.8 bA                                  | 0.5 aB               |
| T2                           | 98.0 bB                                | 99.0 aA   | 98.0 abA                               | 99.0 aA   | 1.0 abA                                 | 0.8 aA               |
| T3                           | 98.0 bB                                | 100.0 aA  | 98.0 abB                               | 100.0 aA  | 1.3 abA                                 | 0.0 aA               |
| T4                           | 98.0 bB                                | 99.0 aA   | 98.0 abA                               | 99.0 aA   | 0.8 abA                                 | 0.8 aA               |
| T5                           | 99.0 abB                               | 100.0 aA  | 98.0 abB                               | 100.0 aA  | 0.5 aA                                  | 0.0 aA               |
| T6                           | 98.0 bB                                | 99.0 aA   | 97.0 bB                                | 99.0 aA   | 1.5 abA                                 | 0.3 aA               |
| T7                           | 100.0 aA                               | 100.0 aA  | 100.0 aA                               | 100.0 aA  | 0.0 aA                                  | 0.0 aA               |
| CV (%)                       | 0.67                                   |           | 0.95                                   |           | 141.93                                  |                      |

daa = days after application; CTS = conventional tillage system; NTS = no-tillage system; T1 = Boral® 500 SC; T2 = PonteiroBR®; T3 = Stone®; T4 = Boral® 500 SC + Gamit® 360 CS; T5 = PonteiroBR® + Gamit® 360 CS; T6 = Stone® + Gamit® 360 CS; T7 = control (manual weeding); CV = coefficient of variation. Means followed by the same lowercase letter in the column and uppercase letter in the row are not significantly different from each other (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

dda = días después de la aplicación; SCL = sistema convencional de labranza; SLC = sistema de labranza cero; T1 = Boral® 500 SC; T2 = PonteiroBR®; T3 = Stone®; T4 = Boral® 500 SC + Gamit® 360 CS; T5 = PonteiroBR® + Gamit® 360 CS; T6 = Stone® + Gamit® 360 CS; T7 = testigo (deshierbe manual); CV = coeficiente de variación. Medias seguidas por la misma letra minúscula en la columna y mayúscula en la fila no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

Regarding weed control, there was a significant difference between the treatments and systems evaluated at 42 and 56 daa (Table 2). However, weed control higher than 96 % was found 42 and 56 daa for all herbicide treatments, and it was higher in plots under NTS (Table 1).

Bailey (2013) reported that applying combinations of two herbicides to control weeds in tobacco plantation areas provided more efficient control due to a broader spectrum of controlled weeds. He found that the tank-mixing application of sulfentrazone + clomazone was more efficient in controlling *Ambrosia artemisiifolia*, *Cyperus esculentus*, *Digitaria sanguinalis*, and *Ipomoea hederacea* in tobacco plantation areas. Haramoto and Pearce (2019) found lower weed density in areas where tobacco plants were grown on cover crop residues; however, the application of residual herbicides was

En cuanto al control de malezas, se presentó una diferencia significativa entre los tratamientos y los sistemas evaluados a los 42 y 56 dda (Cuadro 2). Sin embargo, se observó un control de malezas superior a 96 % a los 42 y 56 dda en todos los tratamientos, y fue mayor en las parcelas bajo SLC (Cuadro 1).

Bailey (2013) menciona que la aplicación de combinaciones de dos herbicidas en áreas de plantaciones de tabaco proporciona un control más eficiente debido a un espectro más amplio de malezas controladas. Asimismo, señala que la aplicación de sulfentrazona + clomazona es más eficiente en el control de *Ambrosia artemisiifolia*, *Cyperus esculentus*, *Digitaria sanguinalis* e *Ipomoea hederacea* en áreas de plantación de tabaco. Haramoto y Pearce (2019) observaron una menor densidad de malezas en áreas cultivadas con tabaco sobre rastrojo de cultivos de

Table 2. Variance analysis for phytotoxicity (Phyto) in tobacco plants, efficiency in weed control, weed density (Density), yield of thirds of the plant (lower, middle, and upper), and total yield (entire plant) of tobacco plants grown under different tillage systems (CTS and NTS). Santa Catarina, Brazil (2020/2021 harvest season).

Cuadro 2. Análisis de varianza de la fitotoxicidad (F. tox.), la eficiencia en el control de malezas, la densidad de malezas (Densidad), rendimientos de los tercios (inferior, medio y superior) y rendimiento total (planta completa) de plantas de tabaco bajo diferentes sistemas de labranza (SCL y SLC). Santa Catarina, Brasil (temporada de cosecha 2020/2021).

| SV / FV                                       | Phyto (14 daa) /<br>F. tox. (14 dda) | Control / Testigo   |                     | Density (56 daa) /<br>Densidad (56 dda) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------------|
|                                               |                                      | 42 daa / 42 dda     | 56 daa / 56 dda     |                                         |
| System / Sistema                              | 171.000*                             | 50.114*             | 29.009*             | 8.409*                                  |
| Block (System) /<br>Bloque (Sistema)          | 1.737 <sup>ns</sup>                  | 0.205 <sup>ns</sup> | 0.188 <sup>ns</sup> | 0.730 <sup>ns</sup>                     |
| Treatments / Tratamientos                     | 71.526*                              | 4.295*              | 4.145*              | 2.097 <sup>ns</sup>                     |
| System × Treatment /<br>Sistema × Tratamiento | 71.526*                              | 1.814 <sup>ns</sup> | 1.587 <sup>ns</sup> | 1.355 <sup>ns</sup>                     |
| Error                                         | 0.037                                | 0.436               | 0.888               | 1.027                                   |
| Total                                         | 315.789                              | 58.704              | 34.741              | 11.861                                  |

| SV / FV                                       | Lower third /<br>Tercio inferior | Middle third /<br>Tercio medio | Upper third /<br>Tercio superior | Total yield /<br>Rendimiento total |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| System / Sistema                              | 0.004 <sup>ns</sup>              | 4.139*                         | 56.167*                          | 56.845*                            |
| Block (System) /<br>Bloque (Sistema)          | 1.069 <sup>ns</sup>              | 1.295 <sup>ns</sup>            | 0.953 <sup>ns</sup>              | 0.761 <sup>ns</sup>                |
| Treatments / Tratamientos                     | 3.195*                           | 0.874 <sup>ns</sup>            | 1.112 <sup>ns</sup>              | 1.212 <sup>ns</sup>                |
| System × Treatment /<br>Sistema × Tratamiento | 2.011 <sup>ns</sup>              | 0.925 <sup>ns</sup>            | 0.985 <sup>ns</sup>              | 1.040 <sup>ns</sup>                |
| Error                                         | 8.672                            | 20.366                         | 507.86                           | 556.651                            |
| Total                                         | 6.275                            | 5.434                          | 57.279                           | 59.097                             |

CTS = conventional tillage system; NTS = no-tillage system; daa = days after application; SV = sources of variation; \* = significant at 5 %; ns = not significant.  
SCL = sistema convencional de labranza; SLC = sistema de labranza cero; dda = días después de la aplicación; FV = fuentes de variación; \* = significativo al 5 %; ns = no significativo.

needed to control these weeds. According to Haramoto et al. (2020), cover crop residues contribute to the reduction of light penetration into the soil surface layers, which prevents the emergence of weeds.

Regarding weed density, both systems (SCL and SLC) presented effective control, where the combination of PonteiroBR® + Gamit® (T5) showed the lowest value at 56 daa and was statistically different from Boral® 500 SC. (T1) (Table 1).

In general, weeds are more competitive than tobacco plants. In this sense, tobacco yields tend to decrease as weed density increases. Thus, an effective weed control system is necessary until the establishment of tobacco plants (Darwish et al., 2015). According to Bailey (2013), a high weed density in tobacco plantations can delay plant growth due to competition for light, water, and nutrients, negatively affecting the final yield and quality of tobacco plants. Clapp et al. (2022) reported that the application of herbicides for weed control in

cobertura; sin embargo, fue necesaria la aplicación de herbicidas residuales para controlar malezas. De acuerdo con Haramoto et al. (2020), el rastreo de los cultivos de cobertura contribuye a reducir la penetración de la luz en las capas superficiales del suelo, lo cual evita la aparición de malezas.

En cuanto a la densidad de malezas, ambos sistemas (SCL y SLC) presentaron un control efectivo, donde la combinación de PonteiroBR® + Gamit® (T5) mostró el valor más bajo a los 56 dda y fue estadísticamente diferente a Boral® 500 SC (T1) (Cuadro 1).

En general, las malezas son más competitivas que las plantas de tabaco. En este sentido, el rendimiento del tabaco tiende a disminuir a medida que aumenta la densidad de malezas. Por lo tanto, es necesario un sistema eficaz de control de malezas para el establecimiento de las plantas de tabaco (Darwish et al., 2015). De acuerdo con Bailey (2013), una densidad alta de malezas en plantaciones de tabaco puede retrasar el

tobacco plantations reduces the need for manual labor and helps to decrease the supply of weed seeds to the soil seed bank.

Pre-emergent herbicides present residual activity in the soil, decreasing weed infestation over the crop cycle (Haramoto et al., 2020). Thus, the results of the present study showed that the herbicides used kept their residual activity in the soils under both tillage systems used (CTS and NTS). However, the effectiveness of residual herbicides is highly dependent on adequate soil moisture for activation; however, soil moisture is a factor that cannot be controlled in non-irrigated systems, as it depends on climate conditions (Ritter et al., 2005).

Antoneli et al. (2016) evaluated soil surface moisture in tobacco plantation areas and found higher moisture contents in soils under NTS when compared to those under CTS. This may be attributed to the soil cover provided by straw, which contributes to the maintenance of high moisture levels, promoting an even distribution of moisture throughout the soil surface. Therefore, the higher weed control found in the present study for NTS (Table 1), compared to CTS, may be due to the greater soil moisture retention under NTS, resulting in better herbicide distribution and activity.

Regarding tobacco yield, NTS showed a significant difference from CTS, with higher yields in the upper third of the plants, resulting in higher total yield. However, no significant difference was found among the herbicide treatments (Table 3). This is a similar result to that found by Antoneli et al. (2016), who reported higher yield for tobacco plants under NTS than those under CTS. The herbicide treatments did not affect the tobacco plant yields, as they caused minimal phytotoxicity to tobacco plants; in addition, they provided excellent weed control, preventing competition between weed and tobacco plants for environmental resources. Thus, they presented similar yield to the control (manual weeding).

Bailey (2013) found that herbicide applications resulted in higher tobacco yields compared to the control with no herbicide application and attributed this result to the mitigation of interference. The author also found no significant difference among the herbicides evaluated (sulfentrazone, clomazone, sulfentrazone + clomazone, pendimethalin, pendimethalin followed by sulfentrazone, pebulate, napropamide, and pebulate + napropamide); the tobacco yields found varied from 2,765 to 3,051 kg·ha<sup>-1</sup> in the treatments with herbicides, whereas the control presented 2,406 kg·ha<sup>-1</sup>.

Tobacco yield in each plant profile is connected to the quality of the leaves grown. The leaves in the upper third of the plant provided higher yield under NTS and exhibited better quality due to a thick, sturdy laminar

crecimiento de la planta debido a la competencia por luz, agua y nutrientes, lo cual afecta negativamente el rendimiento final y la calidad de las plantas. Clapp et al. (2022) mencionan que la aplicación de herbicidas para el control de malezas en plantaciones de tabaco reduce la necesidad de mano de obra y ayuda a disminuir el suministro de semillas de malezas a la reserva de semillas del suelo.

Los herbicidas de pre-emergencia presentan actividad residual en el suelo, lo cual disminuye la infestación de maleza durante el ciclo del cultivo (Haramoto et al., 2020). Por ello, los resultados del presente estudio mostraron que los herbicidas mantuvieron actividad residual en los suelos bajo ambos sistemas de labranza utilizados (SCL y SLC). No obstante, la efectividad de los herbicidas residuales depende de la humedad del suelo, factor que no puede ser controlado en sistemas sin riego, ya que precisa de las condiciones climáticas (Ritter et al., 2005).

Antoneli et al. (2016) evaluaron la humedad de la superficie del suelo en zonas de plantaciones de tabaco y encontraron mayores contenidos de humedad en suelos bajo SLC, en comparación con los de SCL. Esto se puede atribuir a la cobertura del suelo proporcionada por la paja, la cual mantiene altos niveles de humedad y promueve su distribución uniforme en toda la superficie del suelo. En este sentido, el mayor control de malezas alcanzado en el presente estudio bajo SLC (Cuadro 1), en comparación con SCL, se puede deber a la mayor retención de humedad del suelo, lo cual resultó en una mejor distribución y actividad del herbicida.

En lo referente al rendimiento de tabaco, se observó una diferencia significativa entre los sistemas de producción, con rendimientos más altos en el tercio superior de las plantas bajo SLC, lo cual resultó en mayores rendimientos totales. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los herbicidas (Cuadro 3). Este resultado es similar al reportado por Antoneli et al. (2016), quienes obtuvieron rendimientos más altos en plantas de tabaco bajo SLC que los de SCL. Los tratamientos de herbicida no afectaron significativamente los rendimientos de las plantas de tabaco, en comparación con el testigo (deshierbe manual), debido a que su fitotoxicidad fue mínima; además, proporcionaron excelente control de malezas, lo cual evita la competencia entre malezas y plantas de tabaco por los recursos.

Bailey (2013) encontró que las aplicaciones de herbicida derivaron en rendimientos de tabaco más altos en comparación con la no aplicación, y atribuyó este resultado a la mitigación de la interferencia. El autor también obtuvo diferencias no significativas entre los herbicidas evaluados (sulfentrazone, clomazona, sulfentrazone + clomazona, pendimetalina,

Table 3. Yield (kg·ha<sup>-1</sup>) of the lower, middle, and upper thirds of the plant and total yield (entire plant) of tobacco plants grown under different tillage systems (CTS and NTS) and subjected to application of different sulfentrazone-based formulations and mixtures. Santa Catarina, Brazil (2020/2021 harvest season).

Cuadro 3. Rendimiento (kg·ha<sup>-1</sup>) de los tercios inferior, medio y superior, y rendimiento total (planta completa) de plantas de tabaco cultivadas bajo diferentes sistemas de labranza (SCL y SLC) y aplicación de diferentes formulaciones de herbicidas. Santa Catarina, Brasil (temporada de cosecha 2020/2021).

| Treatments/<br>Tratamientos | Lower third/<br>Tercio inferior |         | Middle third/<br>Tercio medio |         | Upper third/<br>Tercio superior |         | Total yield/<br>Rendimiento total |         |
|-----------------------------|---------------------------------|---------|-------------------------------|---------|---------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|
|                             | CTS/SCL                         | NTS/SLC | CTS/SCL                       | NTS/SLC | CTS/SCL                         | NTS/SLC | CTS/SCL                           | NTS/SLC |
| T1                          | 27 abA                          | 27 aA   | 38 aA                         | 36 aA   | 142 aA                          | 166 aA  | 208 aA                            | 230 aA  |
| T2                          | 26 abA                          | 27 aA   | 35 aA                         | 40 aA   | 126 aB                          | 167 aA  | 188 aB                            | 234 aA  |
| T3                          | 21 bA                           | 23 aA   | 34 aA                         | 38 aA   | 127 aB                          | 171 aA  | 183 aB                            | 232 aA  |
| T4                          | 29 aA                           | 24 aB   | 38 aA                         | 38 aA   | 112 aB                          | 172 aA  | 181 aB                            | 236 aA  |
| T5                          | 27 abA                          | 24 aA   | 38 aA                         | 40 aA   | 138 aB                          | 175 aA  | 205 aB                            | 240 aA  |
| T6                          | 24 abA                          | 25 aA   | 32 aB                         | 39 aA   | 143 aB                          | 181 aA  | 200 aB                            | 246 aA  |
| T7                          | 25 abA                          | 29 aA   | 38 aA                         | 40 aA   | 130 aB                          | 201 aA  | 194 aB                            | 271 aA  |
| CV (%)                      | 11.3                            |         | 11.9                          |         | 14.6                            |         | 10.8                              |         |

CTS = conventional tillage system; NTS = no-tillage system; T1 = Boral® 500 SC; T2 = PonteiroBR®; T3 = Stone®; T4 = Boral® 500 SC + Gamit® 360 CS; T5 = PonteiroBR® + Gamit® 360 CS; T6 = Stone® + Gamit® 360 CS; T7 = control (manual weeding); CV = coefficient of variation. Means followed by the same lowercase letter in the column and uppercase letter in the row are not significantly different from each other (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

SCL = sistema convencional de labranza; SLC = sistema de labranza cero; T1 = Boral® 500 SC; T2 = PonteiroBR®; T3 = Stone®; T4 = Boral® 500 SC + Gamit® 360 CS; T5 = PonteiroBR® + Gamit® 360 CS; T6 = Stone® + Gamit® 360 CS; T7 = testigo (deshierbe manual); CV = coeficiente de variación. Medias seguidas por la misma letra minúscula en la columna y mayúscula en la fila no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

structure. However, the leaves in the lower third of the plant (bottom leaves) presented higher yield under CTS; they are the first leaves from the bottom up and have a thin laminar structure, followed by the leaves in the middle third with a medium sturdy laminar structure (Bendlin et al., 2020). This quality is evaluated in the marketing of tobacco leaves by classes and sale by weight (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023).

Antoneli et al. (2016) found tobacco leaves that were 16.1 % longer under NTS compared to those under CTS; they attributed this result to soil moisture levels provided by NTS, which were higher in all evaluated months and varied less than those in CTS. Reichert et al. (2019a) found decreases in water, soluble and total P, and K losses when they combined planting on ridges under NTS; these losses under NTS were approximately four-fold lower than those found in soils without vegetation cover. Reichert et al. (2019b) found higher leaf area index, dry weight, and yield for tobacco plants under NTS compared to minimum tillage system. Therefore, soil management systems that involve soil cover plants and reduced tillage result in increased tobacco yield and improved quality of tobacco leaves.

Conclusions

This study is important for the tobacco sector as it provides an effective weed control method for use in tobacco cultivation, based on the use of different

pendimetalina seguida de sulfentrazona, pebulato, napropamida, y pebulato + napropamida), donde los rendimientos oscilaron entre 2,765 y 3,051 kg·ha<sup>-1</sup> en los tratamientos con herbicidas, mientras que el testigo presentó 2,406 kg·ha<sup>-1</sup>.

El rendimiento de tabaco en cada perfil de la planta se relaciona con la calidad de las hojas obtenidas. Las hojas en el tercio superior de la planta generaron rendimientos más altos bajo SLC, y mostraron mejor calidad debido a una estructura laminar gruesa y firme. Sin embargo, las hojas del tercio inferior de la planta (hojas basales) presentaron rendimientos más altos con el SCL. Estas hojas son las más cercanas al suelo y tienen estructura laminar delgada, seguidas por las hojas del tercio medio con una estructura laminar de grosor medio (Bendlin et al., 2020). Dicha calidad se evalúa en el mercadeo de las hojas de tabaco mediante clases y venta por peso (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2023).

Antoneli et al. (2016) encontraron hojas de tabaco que eran 16.1 % más largas bajo SLC que con SCL, lo cual atribuyeron a los niveles de humedad del suelo ofrecidos por el SLC, que fueron más altos en todos los meses evaluados y variaron menos que los del SCL. Reichert et al. (2019a) obtuvieron disminuciones en agua, P soluble y total, y K cuando combinaron la siembra en surcos bajo SLC; estas pérdidas fueron, aproximadamente, cuatro veces menores que las encontradas en suelos sin cobertura vegetal. Reichert et al. (2019b) reportan

herbicides, thereby reducing soil disturbance and the demand for labor.

The herbicide Stone® (350 + 700 g·ha<sup>-1</sup> of sulfentrazone + diuron, respectively) applied alone or mixed with Gamit® (792 g·ha<sup>-1</sup> of clomazone) caused mild phytotoxicity in tobacco plants, characterized by transient symptoms that did not result in yield losses.

The evaluated sulfentrazone formulations applied alone or mixed with Gamit® provided efficient weed control without significant damages to tobacco plants. The use of NTS provided higher efficiency in weed control and higher tobacco yields, thus preventing competition for environmental resources. This is mainly for use in the direct planting system, which provided greater efficiency in weed control with greater productivity and quality of tobacco leaves.

#### End of English version

## References / Referencias

- Agrofit. (2023). *Sistemas de agrotóxicos fitossanitários*. [http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)
- Antoneli, V., & Bednarz, J. A. (2011). Erosão de solos no cultivo de tabaco (*Nicotina tabacum*) em uma pequena propriedade rural no município de Irati - Paraná. *Caminhos de Geografia*, 11(36), 150-167. <https://doi.org/10.14393/RCG113616367>
- Antoneli, V., & Thomaz, E. (2014). Perda de solo em cultivo de tabaco sob diferentes formas de cultivo na região Sudeste do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i3.534>
- Antoneli, V., Bednarz, J. A., & Caian, F. (2016). Avaliação da umidade superficial do solo em cultivo de tabaco em plantio direto e convencional na região Sudeste do Paraná. *Caminhos de Geografia*, 17(59), 51-64. <https://doi.org/10.14393/RCG175904>
- Associação dos Produtores de Fumo do Brasil (Afubra). (2022). *Fumicultura no Brasil*. <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>
- Bailey, W. A. (2013). Herbicides used in tobacco. In Price, A. J., & Kelton, J. A. (eds), *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use* (pp. 175-200). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/56008>
- Banzatto, D. A., & Kronka, S. N. (2008). *Experimentação agrícola*. FUNEP.
- Becker, M., Monteiro, J. J., Castanha, E. T., & Cittadin, A. (2020). Custos no cultivo do tabaco: um estudo em uma pequena propriedade rural do sul catarinense. *Navus - Revista de Gestão e Tecnologia*, 10, 1-16. <https://doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-16.932>
- Bendlin, L., de Lima, M. W., Danielski, F., & Schelbauer, J. A. (2020). Custos de produção, análise de risco e retorno nas práticas de cultivo do tabaco direto x convencional. índices de área foliar, peso seco y rendimiento de tabaco más altos bajo SLC, comparado con el sistema de labranza mínima. Por ello, los sistemas de manejo del suelo que involucran plantas de cobertura y que reducen la labranza derivaron en mayores rendimientos y mejor calidad de las hojas de tabaco.
- ## Conclusiones
- Este estudio es importante para el sector tabacalero, ya que ofrece un método de control de malezas efectivo para su uso en el cultivo de tabaco, basado en diferentes herbicidas, con lo cual se reduce la manipulación del suelo y la demanda de mano de obra.
- El herbicida Stone® (350 + 700 g·ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone + diurón, respectivamente), aplicado solo o mezclado con Gamit® (792 g·ha<sup>-1</sup> de clomazona), provocó fitotoxicidad moderada en las plantas de tabaco, caracterizada por síntomas transitorios que no originaron pérdidas de rendimiento.
- Las formulaciones de sulfentrazone aplicadas solas o mezcladas con Gamit® ofrecieron un control eficiente de malezas sin daños significativos a las plantas de tabaco. El uso de SLC proporcionó mayor eficiencia en el control de malezas y mayores rendimientos de tabaco, al evitar la competencia por recursos ambientales. Esto aplica en sistemas de trasplante directo, ya que proporcionó mayor eficiencia en el control de maleza, con mayor productividad y calidad de las hojas de tabaco.
- ## Fin de la versión en español
- Brazilian Journal of Development, 6(3), 12721-12744. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-221>
- Clapp, A. M., Vann, M. C., Cahoon, C. W., Jordan, D. L., Fisher, L. R., & Inman, M. D. (2022). Evaluations of S-Metolachlor in flue-cured tobacco weed management programs. *Agronomy Journal*, 114(2), 1246-1254. <https://doi.org/10.1002/agj2.20984>
- Dan, H. A., Barroso, A. L., Oliveira, R. S., Constantin, J., Dan, L. G., Braz, G. B., Oliveira Neto, A. M., & D'Avila, R. P. (2011). Seletividade de clomazone isolado ou em mistura para a cultura do algodoeiro. *Planta Daninha*, 29(3), 601-607. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300014>
- Darwish, M., Vidal, V., Lopez-Lauri, F., Alnaser, O., Junglee, S., El Maataoui, M., & Sallanon, H. (2015). Tolerance to clomazone herbicide is linked to the state of LHC, PQ-pool and ROS detoxification in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Plant Physiology*, 175, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.11.009>
- Embrapa. (2012). *Atlas Climático da Região Sul do Brasil*. Embrapa. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul>

- Embrapa. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>
- Fisher, L. R., Burke, I. C., Price, A. J., Smith, W. D., & Wilcut, J. W. (2006). Uptake, translocation, and metabolism of root absorbed sulfentrazone and sulfentrazone plus clomazone in flue-cured tobacco transplants. *Weed Technology*, 20(4), 898-902. <https://doi.org/10.1614/WT-05-182.1>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *Countries by commodity*. FAOSTAT. [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity\\_exports](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_exports)
- Haramoto, E. R., & Pearce, R. (2019). Cover crop termination treatment impacts weed suppression potential. *Weed Science*, 67(1), 91-102. <https://doi.org/10.1017/wsc.2018.75>
- Haramoto, E. R., Lowry, C. J., & Pearce, R. (2020). Cover crops are not affected by tobacco soil residual herbicides but also do not provide consistent weed management benefits. *Weed Technology*, 34(3), 383-393. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.123>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2022). *Levantamento sistemático da produção – LSP. Fumo: produção e área colhida*. Brasil e unidades da Federação. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/14/10193>
- Kuva, M. A., Salgado, T. P., & Revoredo, T. T. (2016). Experimentos de eficiência e praticabilidade agrônoma com herbicidas. In: Monquero, P. A. (ed.), *Experimentação com herbicidas* (pp. 75-98). Livroceres.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2023). *Instrução normativa 10/2007. Regulamento de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação do tabaco em folha curado*. <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1559235653>
- Oliveira, R. S. (2011). Mecanismos de ação de herbicidas. In: Oliveira, R. S., Constantin, J., & Inoue, M. H. (eds.), *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas* (pp. 141-190). Omnipax.
- Pekarek, R. A., Garvey, P. V., Monks, D. W., Jennings, K. M., & Macrae, A. W. (2010). Sulfentrazone carryover to vegetables and cotton. *Weed Technology*, 24(1), 20-24. <https://doi.org/10.1614/WT-08-157.1>
- Reichert, J. M., Pellegrini, A., Rodrigues, M. F., Tiecher, T., & Santos, D. R. (2019a). Impact of tobacco management practices on soil, water and nutrients losses in steepplands with shallow soil. *CATENA*, 183, 104215. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104215>
- Reichert, J. M., Pellegrini, A., & Rodrigues, M. F. (2019b). Tobacco growth, yield and quality affected by soil constraints on steepplands. *Industrial Crops and Products*, 128, 512-526. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.037>
- Ritter, R. L., Menbere, H., & Momen B. (2005). Tolerance of Maryland-type tobacco (*Nicotiana tabacum*) to sulfentrazone. *Weed Technology*, 19(4), 885-890. <https://doi.org/10.1614/WT-04-153R3.1>
- Silva-Vignoli, M., & Mentz, L. A. (2005). O gênero *Nicotiana* L. (*Solanaceae*) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia*, 60(2), 151-173. <https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/193>
- Silveira, R. L. (2015). A cultura do tabaco na Região Sul do Brasil: dinâmica de produção, organização espacial e características socioeconômicas. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 19(2), 23-40. <https://doi.org/10.5902/2236499413087>
- SindiTabaco. (2022). *Tabaco: Pioneirismo na sustentabilidade da cadeia produtiva*. [https://www.sinditabaco.com.br/wp-content/uploads/2022/02/10918\\_relato%CC%81rio-institucional-2022-SindiTabaco\\_VISUALIZACAO.pdf](https://www.sinditabaco.com.br/wp-content/uploads/2022/02/10918_relato%CC%81rio-institucional-2022-SindiTabaco_VISUALIZACAO.pdf)
- Vargas, M. A., & Oliveira, B. F. (2012). Estratégias de diversificação em áreas de cultivo de tabaco no Vale do Rio Pardo: uma análise comparativa. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 50(1), 175-192. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032012000100010>
- Zacharias, W. L., Pierro, P. H., Oliveira, G. M., Bovo, R. F., Zarelli, L. G., & Dalazen G. (2021). Weed control and soybean agronomic performance in response to application of sulfentrazone + diuron in pre-emergence. *Colloquium Agrariae*, 17(3), 70-82. <https://doi.org/10.5747/ca.2021.v17.n3.a441>