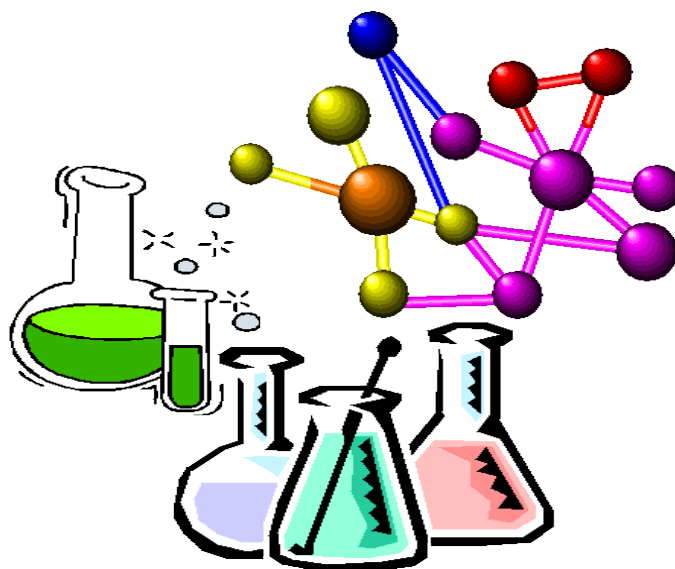




LAICA

TENSOACTIVOS Y COADYUVANTES

EN EL CONTROL QUÍMICO DE MALEZAS



Ing. Agr. Roberto Alfaro Portuguez
Programa Agronomía DIECA

Abril 2019

INDICE

Título	Pag.
Introducción.....	4
1. Característica y función de los tensoactivos.....	6
1.1 Tensión superficial.....	6
1.2 Solubilidad	8
1.3 Balance hidrofílico – Lipofílico (HLB)	9
1.3.1 Acción Emulsificante.....	11
1.3.2 Acción Humectante.....	12
1.3.3 Acción detergente.....	13
1.3.4 Acción solubilizante.....	14
1.3.5 Acción espumante y antiespumante.....	14
1.4 Concentración Critica Micelar (CMC)	15
1.5 Compatibilidad química.....	18
2. Clasificación de los tensoactivos.....	22
2.1 Clasificación de los constituyentes orgánicos de los tensoactivos.....	23
2.2 Tensoactivos sintéticos o inorgánicos.....	24
2.2.1 Tensoactivos iónicos.....	26
2.2.2 Tensoactivos no-iónicos.....	26
2.2.2.1 Principales tensoactivos no iónicos.....	27
3. Coadyuvantes.....	34
3.2 Clasificación de los coadyuvantes.....	38
3.2.1 Acción surfactante o Humectante.....	38
3.2.2 Acción Penetrante.....	40
3.2.3 Acción Adherente.....	40
3.2.4 Acción Acidificante.....	41
3.2.5 Acción Antiespumante.....	42

3.2.6 Acción Anti evaporante.....	43
3.3 Formulación de los coadyuvantes.....	43
4. El uso de coadyuvantes en la caña de azúcar	46
4.1 Coadyuvantes en condiciones de estrés hídrico	49
5. Conclusiones.....	51
6. Literatura Consultada	52

INTRODUCCIÓN¹

Los tensoactivos son compuestos químicos con una estructura que tiene la capacidad de unir una sustancia polar como el agua con una sustancia apolar como son las sustancias orgánicas (aceites o grasas), situación que los hace indispensables en la fabricación de cualquier producto de uso cotidiano por la población hoy día, un ejemplo de ello se puede observar en el Cuadro 1, donde se presentan diferentes tensoactivos comúnmente utilizados en campos de la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, además de la agricultura.

Estos productos son utilizados como: jabones, champús, pasta dentales, cremas, medicamentos, preservantes y estabilizantes en alimentos preparados, sin embargo es en la agricultura donde se señalan a los tensoactivos como contaminantes del medio ambiente y que atentan contra la salud humana.

En el campo de la agricultura los tensoactivos se utilizan en la formulación de todos los plaguicidas y en especial en la fabricación de los coadyuvantes, productos necesarios como complemento importante en las aplicaciones de los mismos. Por las características químicas y funcionalidad de los tensoactivos, se dispone entre ellos de cosolventes (agentes de enlace), agentes estabilizantes, emulsificantes, dispersantes, humectantes, penetrantes, agentes formadores de depósito, agentes higroscópicos, activadores o sinergistas y detergentes. Por lo general todos los tensoactivos presentan varias de estas funciones, sin embargo resalta alguna en especial y por la cual el fabricante dispone al formular el coadyuvante, por ejemplo la acción penetrante indicada por un coadyuvante en particular, es inducida en mayor capacidad por algunos tensoactivos, la acción antiespumante por otros, por este motivo los fabricantes de coadyuvantes utilizan mezclas de tensoactivos para ofrecer en su producto comercial con diferentes acciones como se verá a continuación en este documento.

¹Ingeniero Agrónomo. Funcionario del *Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA* Costa Rica. E-mail: ralfaro@laica.co.cr. Teléfono (506) 24-94-1129/ (506) 24-94-7555 / 24-94-44-51.

Sin la utilización de los tensoactivos sería imposible utilizar los plaguicidas como se hace hoy día, la solubilidad en agua, su estabilidad, dispersión y penetración en las plantas son algunos de los beneficios otorgados por estos productos, sin embargo como se podrá apreciar en este documento, la selección adecuada de los tensoactivos usados para la formulación de los plaguicidas y coadyuvantes es un aspecto sensible que debe ser manejado por expertos, ya que estos influirán significativamente en la compatibilidad química y en la eficiencia del ingrediente químico que se asperje en el campo.

Cuadro 1.
Principales tensoactivos utilizados en la industria
y de consumo humano (SALAGER 2004).

Tipo de Industria	Tensoactivos
Alimentaria	Acilglicerolos Esteres de sorbitano Copolimeros de oxido de etileno Oxidos propileno Alquisulfatos Esteres de Poliglicol
Agricultura	Alquilbenceno sulfonatos Nonilfenoles polietoxilados Esteres, Poliglicoles Aceites sulfatos
Cosmética	Esters de poliglicol Oxidos de amina Alcoholes grasos polietoxilados Alquil polieter sulfatos, Alcanoamidas Alquil betainas, Dialquilsulfosuccinatos

El objetivo de este documento, es brindar toda la información relevante e implicaciones que tienen los tensoactivos utilizados sobre todo en la formulación de los coadyuvantes, para que permita con ello seleccionar mejor a estos importantes productos con base en los herbicidas, mezclas, ambiente y malezas aplicadas.

1. Característica y función de los tensoactivos

Los tensoactivos por su composición química tan variada, presentan una gran capacidad para alterar o modificar parcial o totalmente a muchos compuestos orgánicos e inorgánicos que se mezclen con ellos, a continuación se presentaran algunos de estos casos.

1.1. Tensión superficial

La tensión superficial es un concepto físico y se mide por la fuerza de cohesión de un líquido que se resiste a desplazarse sobre una determinada superficie. Dicha fuerza no es igual en la superficie y en el interior del líquido, aunque en promedio terminan anulándose entre sí.

Un ejemplo donde se muestra esta fuerza de tensión, es cuando se depositan algunas gotas de agua sobre una hoja como en la Figura 1, donde la gota tendera a mantenerse “esférica”, en respuesta a las fuerzas de tensión existentes entre las moléculas del agua de la superficie y las moléculas del interior de la gota. Por lo tanto la tensión superficial indicará que, a medida que el líquido tenga mayores fuerzas de cohesión, este contará con una mayor tensión superficial y por ello con la dificultad de mojar la superficie en que se encuentre. Es importante tomar en cuenta que la tensión superficial está vinculada a la temperatura, el medio y la naturaleza del líquido (MAK 1990).



Figura 1. Gotas de agua sobre la capa cerosa de una hoja.

Para una mejor comprensión, se podría afirmar que la tensión superficial es como una especie de “membrana elástica” que dificulta el desplazamiento natural del líquido. Gracias a este fenómeno, algunos insectos tienen la posibilidad de posarse sobre el agua sin que se hundan en ella.

La unidad de medida de la tensión superficial es el newton por metro ($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$), equivalente a julios por metro cuadrado ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$), unidad de energía de superficie al igual que el dina/por cm. Como se observa en Cuadro 2 y como ejemplo todos los líquidos presentan diferentes medidas de tensión superficial y el agua es uno de los líquidos con mayor tensión superficial ($72,8 \text{ N/m}$); otras sustancias orgánicas cuentan con menores tensiones por lo que son utilizadas en la fabricación de tensoactivos, precisamente para romper la tensión superficial del agua. Con la aplicación de plaguicidas sobre la superficie foliar de las plantas (cultivo o malezas), el mojado de las hojas es vital, para que haya un mayor contacto con la superficie y con ello una mayor penetración o cubrimiento del plaguicida, según sea el objetivo de su aplicación.

Cuadro 2.
Valores de Tensión superficial de algunos líquidos.

Líquido	Tensión superficial (10^{-3} N/m)
Agua	72,8
Glicerina	59,4
Aceite Oliva	33,06
Benceno	29
Petróleo	26
Alcohol etílico	22,8

I.2. Solubilidad

La solubilidad es una propiedad de las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas de disolverse en diferentes sustancias llamadas solventes. El solvente más utilizado es el agua y lo disuelto en ella, parcial o total, se les llama sustancias polares. Las sustancias que no se disuelven en agua, se les llama sustancias apolares y por lo general son altamente solubles en solventes orgánicos como el alcohol, la cetona, el cloroformo etc. Por tal motivo la solubilidad de una sustancia dependerá de la naturaleza del disolvente y del soluto, así como de la temperatura y la presión del sistema. Al proceso de interacción entre las moléculas del disolvente y las partículas del soluto para formar agregados se le llama solvatación y si el solvente es agua, hidratación (BROWN 2004).

Los herbicidas al igual que todos los plaguicidas, están compuestos por un ingrediente activo orgánico (no polar), por lo que en su formulación se agrega un conjunto de sustancias tensoactivas para que estos productos puedan disolverse en agua y mantener su estabilidad en el tiempo, en el Cuadro 3 se presenta la solubilidad en agua de diferentes herbicidas (ingrediente activo), observándose que el herbicida más soluble es el M.S.M.A con 10,4 gramos / litro de agua y el más insoluble es oxifluorfen con 0,1 mg / litro de agua.

Cuadro 3.
Solubilidad de los ingredientes activos de diferentes herbicidas aplicados en el cultivo de la caña de azúcar (WSSA 2007).

Herbicidas	Solubilidad mg/ L	Temp C°	Herbicidas	Solubilidad mg/ L	Temp C°
MSMA	1040000	25	Acetoclor	223	25
Glifosato	900000	25	Ametrina	200	22
Paraquat	620000	25	Terbutrina	58	20
Hexazinona	33000	25	Diuron	42	25
Imazapir	11272	25	Atrazina	34	22
Tebuthiuron	2570	20	Terbutilazina	8,5	20
Clomazone	1100	25	Isoxaflutole	6,8	25
Metribuzin	1100	20	Simazina	3,5	20
2,4 - D	796	20	Pendimetalina	0,275	25
Picloran	430	25	Oxifluorfen	0,1	20

I.3. Balance hidrofílico - Lipofílico (HLB)

Los compuestos tensoactivos presentan en su estructura química dos porciones moleculares contrastantes entre sí, a esta característica se le llama “carácter anfifilo”, ya que posee una doble afinidad polar y no polar. La parte polar posee afinidad por el agua, y se denomina comúnmente la parte hidrófila o hidrofílica y el grupo apolar se le llama la parte hidrófoba o hidrofóbica, o bien lipofílica.

La parte lipofílica de la molécula, por lo general está conformada por una cadena hidrocarbonada lineal o ramificada, constituida por hidrocarburos como: óxidos de etileno, poli óxidos de propileno, grupos parafínicos y grupos aromáticos como el benceno; eventualmente puede contener halógenos. Dentro de estos grupos también llamados alquílicos, los de mayor uso en la industria de productos de superficie activa, son los de cadena ramificada ya que presentan la ventaja de ser más biodegradables que los de cadena lineal.

La parte hidrofílica o polar la ocupan los llamados grupos funcionales como: *alcoholes, éter, esterres, ácidos carboxílicos y grupos de aminas y amidas, sulfatos, fosfatos y sulfonatos.*

El largo de la cadena hidrocarbonada, determinara su liposolubilidad y la cantidad o tipo de grupos funcionales, determinara el nivel de hidrosolubilidad o afinidad del tensoactivo a grupos polares, por ejemplo los hidroxilos (OH), son menos hidrosolubles que los grupos sulfonatos y estos menos hidrosolubles que los grupos carboxilatos. Por este motivo la capacidad liposoluble o hidrosoluble del tensoactivo, varía de acuerdo a su composición química, ya que también el largo de la cadena hidrocarbonada, sea lineal o ramificada influirá en este aspecto. Un número adecuado, es de al menos 12 carbonos para ser suficientemente liposoluble.

Existen tres categorías de agentes tensoactivos: *detergentes, agentes humectantes y emulsionantes*; todos tienen el mismo mecanismo químico básico y difieren principalmente por su equilibrio químico y por la naturaleza de las superficies involucradas como se mencionó. Para tener un buen anfifilo o tensoactivo, este debe estar químicamente bien balanceado entre la porción hidrofílica y la porción lipofílica. El valor de este balance (HLB)

se obtiene de la relación porcentual entre el número de unidades de los grupos funcionales y el número de átomos de la parte lipofílica. (MOORE et al 1956).

El valor del balance hidrofílico y lipofílico como se observa en la Figura 2, sirve para clasificar los tensoactivos de acuerdo a su poder de acción ya sea como: *agentes humectantes, dispersantes, defloculantes, detergentes, emulsificadores, suspensores y solubilizantes*. Cualquier tensoactivo presenta todas estas propiedades en algún grado, pero en general, domina una de ellas sobre las demás, lo cual hace que se restrinja el empleo de cada agente a una aplicación determinada. Por ejemplo, en la formulación de los coadyuvantes, si se desea que el mismo cuente con algunas de estas características, el fabricante incorpora al producto los tensoactivos necesarios que por su valor de HLB, cumplan con la acción deseada y reportada en la etiqueta.

Pequeñas diferencias en la estructura del tensoactivo afectaran su comportamiento, ya que en los tensoactivos aniónicos, entre más cercano este el grupo hidrofílico del final de la cadena hidrocarbonada, mejor funcionará como detergente, mientras que si en este mismo tensoactivo este grupo se localiza cerca de la mitad de la cadena hidrocarbonada este funcionará como excelente agente humectante (GARCIA 2003).



Figura 2. Funcionalidad de los tensoactivos de acuerdo al balance hidrofílico –lipofílico de los tensoactivos (GRIFFIN 1954).

1.3.1. Acción Emulsificante

La capacidad emulsificante de un tensoactivo, se manifiesta con la mayor capacidad de producir dispersiones coloidales de grasa en medio acuoso o de agua en medio de grasa, por lo tanto, un mismo emulsificante tendrá la capacidad de disolver una gota de aceite en agua o una gota de agua en aceite. Los emulsificantes son utilizados en la fabricación de muchos productos, principalmente en alimentos, cosméticos, pinturas acrílicas, plaguicidas, y en muchas otras aplicaciones.

Cuando se agrega al agua una porción de aceite, este al ser insoluble en el agua se mantendrá separado sobre la superficie del agua. Si a esta mezcla se le adiciona un tensoactivo con función emulsificante, se presentará la formación de diversas estructuras llamadas *micelas*, en las cuales, como se observa en la Figura 3, se combina la cadena carbonada liposoluble (cola) con el aceite y la cabeza polar o hidrofílica se une al agua para lograr la disolución del aceite con el agua.

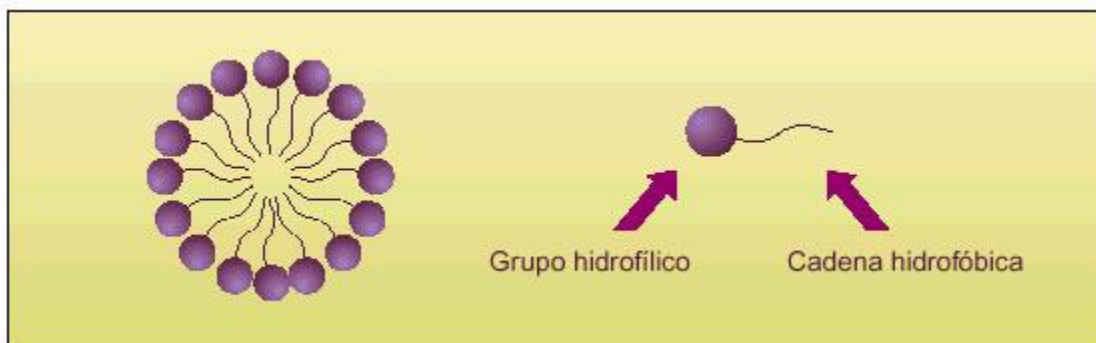


Figura 3. Diagrama de un emulsificante mostrando su polaridad (MADOLET 2016).

Cuando el medio está constituido por una sustancia no polar o sea liposoluble que podría ser aceite por ejemplo, se forman las llamadas *micelas inversas* (agua en aceite). En este caso, las cabezas polares siempre estarán en contacto con el agua o alguna otra sustancia polar, mientras que las colas hidrocarbonadas se dirigen hacia el exterior de la micela (en contacto con el disolvente apolar). En la Figura 4 se presentan las dos condiciones de emulsiones. La función emulsificante de los tensoactivos, juega un papel preponderante en la formulación de los plaguicidas y en el caso de los herbicidas son los responsables de lograr la solubilidad y estabilidad de las moléculas (i.a.) en agua.

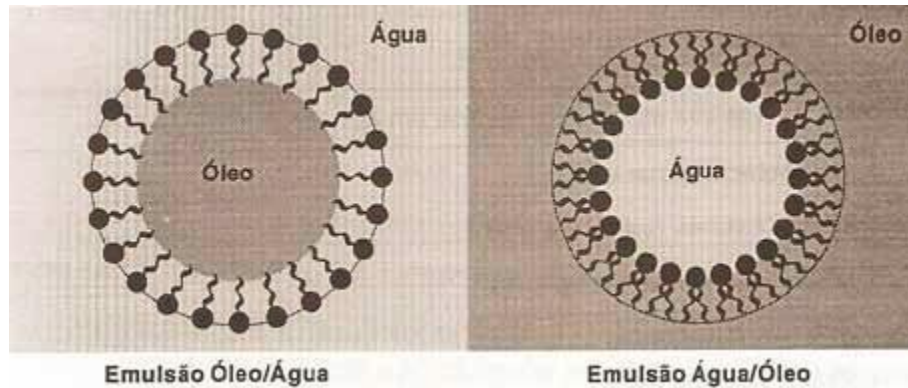


Figura 4. Presentación esquemática de dos emulsiones aceite en agua y agua en aceite (FERNÁNDEZ sf).

1.3.2. Acción Humectante

Cuando las cadenas hidrocarbonadas o lipofílicas (colas) se adhieren a la superficie que se desea mojar facilitan con ello la impregnación de la sustancia asperjada e impiden con ello que las mismas resbalen sin adherirse a la hoja. Un humectante es un tensoactivo con un HLB medio (7 - 9) (situado en la parte central de la escala según la Figura 2). Por lo tanto, cuando el tensoactivo se disuelve en agua, provoca una disminución del ángulo de contacto, mojando o humectando una mayor proporción de la superficie como se observa en la Figura 5.

Debe entenderse por ángulo de contacto, el ángulo que existe entre la superficie de una gotita líquida y la superficie sobre la cual se encuentra el líquido; el ángulo de contacto entre un líquido y un sólido puede variar desde 0°, señal de que el líquido moja completamente al sólido, hasta aproximarse a 180°, cuando la acción mojante es insignificante; pudiendo también presentar cualquier valor intermedio entre estos límites (RODRIGUEZ 2014).

Dependiendo del líquido y el tipo de superficie, el ángulo de contacto entre ambos puede variar, por ejemplo el ángulo de contacto que se forma entre una gota de agua y una superficie cerosa será mayor porque el líquido moja de forma incompleta dicha superficie, pero cuando se coloca la gota de agua sobre una superficie de vidrio muy limpia, el ángulo de contacto se reducirá significativamente. En este caso si al agua se le añade un agente

humectante apropiado, la disolución se extenderá espontáneamente sobre la superficie, aunque esté engrasada. Para que un agente humectante actúe con eficacia, es decir, para que presente un ángulo de contacto pequeño, deberá tener un valor de HLB alrededor de 6 a 9.

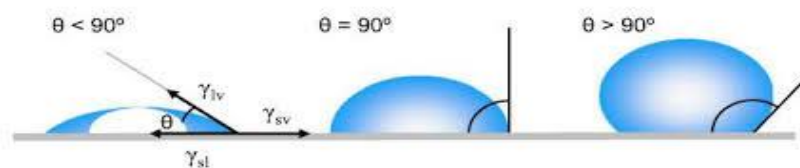


Figura 5. Incremento de la humectación de una gota de agua al agregar un tensoactivo humectante (Braco y Holbs 2013 citados por RODRIGUEZ 2014).

1.3.3. Acción detergente

La acción detergente de los tensoactivos, se emplea para separar la suciedad de cualquier tipo de superficie. La detergencia es un proceso complejo, por el cual se separan las sustancias extrañas de las superficies, envolviéndolas o secuestrándolas como se observa en la Figura 6. La capacidad de estos compuestos para combinar diversas propiedades como: la desfloculación, suspensión y la emulsificación permiten que las moléculas del tensoactivo actúen sobre las partículas de aceite o grasa eliminándolas de la superficie, formando micelas estables en suspensión, para que posteriormente sean eliminadas.



Figura 6. Captura de una partícula de suciedad por un tensoactivo con poder detergente.

La función de detergencia de los tensoactivos en general, no es muy importante en la aplicación de los plaguicidas, ya que su accionar es más dirigido a la fabricación de productos de limpieza como: jabones, detergentes, champús, etc.

1.3.4. Acción solubilizante

Los agentes solubilizantes son compuestos anfifílos que permiten preparar disoluciones acuosas, de concentración elevada, de sustancias inmiscibles o parcialmente miscibles con el agua.

Cuando un tensoactivo se disuelve o se dispersa en un líquido, aquél queda adsorbido en la superficie de éste. Pero si la concentración del tensoactivo es elevada, existirá un exceso de éste que no puede ser adsorbido en la superficie del líquido y que ha de permanecer en él formando agregados moleculares coloidales, denominados *micelas*. Algunos autores estiman que estas micelas, corrientemente formadas por 50 a 150 moléculas o iones del agente tensoactivo, se encuentran en la disolución acuosa en forma esférica, cilíndrica (tipo salchicha) o incluso en forma de placas laminares con las porciones hidrocarbonadas no polares orientadas hacia el centro de la micela

En el caso de los herbicidas de muy baja solubilidad como pendimetalina y oxifluorfen esta función podría ser muy efectiva en la formulación de estos productos.

1.3.5. Acción espumante y antiespumante

Muchas disoluciones de agentes tensoactivos, producen espumas estables cuando se mezclan íntimamente con el aire. La espuma es una estructura relativamente estable formada por bolsas o burbujas de aire encerradas en el interior de películas delgadas de líquido, es decir, es una dispersión de un gas en un líquido que se estabiliza por medio de un agente espumante. La espuma se disipa o deshace a medida que se va eliminando el líquido de la zona que rodea a las burbujas de aire, pues finalmente la película líquida colapsa.

Su permanencia o duración, depende del material espumante; así, un jabón forma espumas duraderas, comparativamente con las espumas del agua del mar que no son estables ya que duran pocos segundos.

Si agitamos un recipiente parcialmente lleno de agua, se puede apreciar que la formación de espuma apenas es incipiente y desaparece rápidamente; pero si esto no ocurre, es porque el agua contiene un material orgánico como un jabón o algún otro contaminante. (GRACIA 2017).

Los agentes antiespumantes, como el alcohol, éter, aceite de ricino y algunos agentes tensoactivos, se utilizan como agentes antiespumantes. (SANZ 2019).

I.4. Concentración Crítica Micelar (CMC)

El carácter lipofílico e hidrofílico de las sustancias tensoactivas, hace que estas presenten numerosas propiedades en común a pesar de los variados compuestos polares y apolares que se utilizan en su fabricación.

En soluciones acuosas a bajas concentraciones de un determinado tensoactivo, la parte lipofílica se dispersa en el medio formando especies moleculares llamados *monómeros*, los cuales al incrementar paulatinamente la concentración del tensoactivo, se encargaran de disminuir gradualmente la tensión superficial del agua (Figura 7). Después de alcanzar cierta concentración, la tensión superficial dejara de disminuir y se mantendrá estable aunque se continúe agregando el tensoactivo a la solución. A este punto donde ya no se registra ningún cambio en la tensión superficial se le denomina **“Concentración Crítica Micelar” (CMC)**, sin embargo si se continua agregando a la solución más tensoactivo, los monómeros espontáneamente se empezarán a asociar en agregados de mayor tamaño coloidal, formando dímeros y trímeros y a los que se les llamara *micelas* (RAMIREZ *et al* 2005).

Para comprender mejor este concepto, se podría afirmar que a partir de cierta concentración de un determinado tensoactivo, las porciones lipofílicas o hidrofóbicas pasan a superar a las porciones hidrofílicas, uniéndose estas en mayor volumen y con mayor atracción, conformando con ello un tipo de estructuras cerradas llamadas *micelas*.

Las *micelas* formadas tendrán diversas formas y tamaños dependiendo de la estructura del tensoactivo y del ambiente físico - químico que rodea dicho tensoactivo; el grado de

“miscelización” que se presente puede variar en un mismo compuesto, dependiendo si se encuentra, en estado monomérico o en formas más complejas como dímeros y Trímeros.

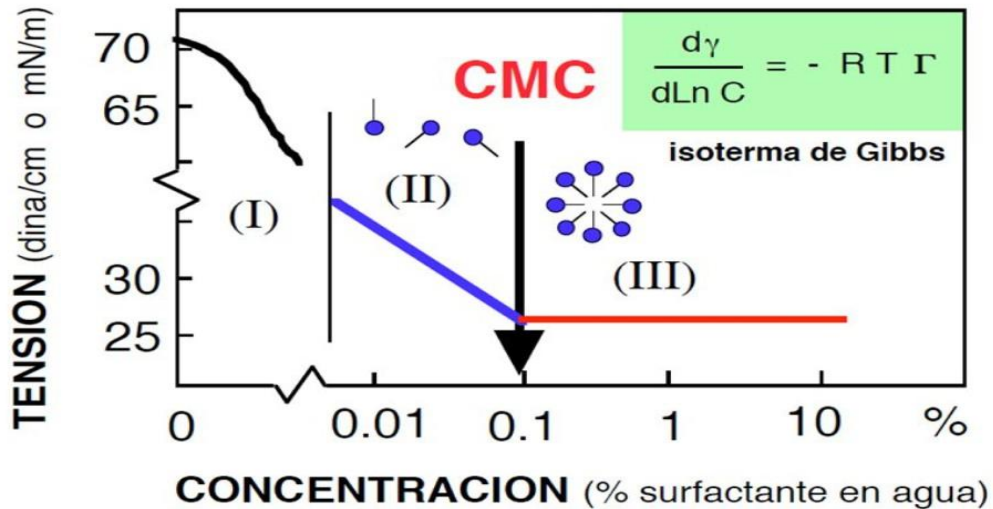


Figura 7. Concentración crítica micelar de un tensoactivo agregado para reducir la tensión superficial del agua (SALAGER 2012).

En solución acuosa, cadenas hidrofóbicas del tensoactivo se encuentran dirigidas hacia el interior de la micela y sus cabezas hidrofílicas en el exterior de ella.

La formación de las micelas se debe principalmente a tres tipos de fuerzas: i) por repulsión entre las cadenas hidrocarbonadas y el medio acuoso, ii) por repulsión de carga de las cabezas polares, iii) atracciones de Vander Waals entre cadenas hidrocarbonadas (PEREZ 1989).

Una concentración superior a la *Concentración Micelar Crítica* (CMC), el tensoactivo podría penetrar mejor y más rápidamente la superficie de las hojas, favoreciendo el accionar del plaguicida, pero con el posible riesgo de perjudicar el cultivo. La conductividad electrolítica del tensoactivo, también influye en la formación de las *micelas* en solución, por ejemplo los tensoactivos de carácter iónico, forman con mucha dificultad *micelas*, debido a que sus grupos hidrofílicos al presentar una carga neta y una fuerza de repulsión, impiden que las porciones lipofílicas, no logren acercarse lo suficiente para que se dé la interacción de estas. Los tensoactivos no iónicos por lo tanto son más propensos a formar *micelas* que los

tensoactivos iónicos. Para un mismo grupo lipofílico, la CMC de los tensoactivos no iónicos es de 100 a 1000 veces mayor (SALAGER 2004).

En la Figura 8 se presentan las diferentes estructuras micelares a saber: esférica, laminar, cilíndrica, espiral con diferentes grados de curvatura y dimensiones, entre más complejas sean estas estructuras, menores serán las superficies de contacto entre las partes lipofílica y el solvente acuoso o polar, reduciéndose con ello la efectividad del tensoactivo (SALAGER 2004).

La concentración crítica micelar, no es un valor exacto, se presenta en un rango de concentración que puede ser, relativamente amplio si el tensoactivo es una mezcla de especies químicas muy diferentes entre sí (SALAGER 1993).

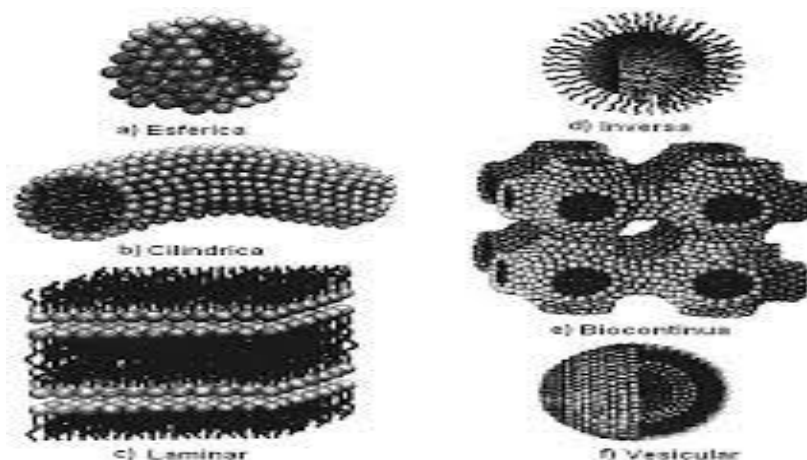


Figura 8. Diferentes estructuras micelares formadas por alta concentración de un tensoactivo en solución acuosa. (Holmberg citado por SANZ 2019).

Aquellos tensoactivos con concentraciones ligeramente mayores que la CMC, las micelas son esféricas; al aumentar la concentración, se propician cambios en la estructura de los agregados micelares, pasando a diversas formas más complejas, adoptando formas cilíndricas o lamelares, o en algunos casos de discos; a concentraciones superiores, pueden ocurrir transiciones de fase de solución micelar a cristales líquidos (PEREZ 1989).

Las micelas en su interior, pueden incluir además de agua, sales y moléculas diversas como los ingredientes activos de los plaguicidas, situación que en altas concentraciones del

tensoactivo o tensoactivos agregados, pueden encapsular parte importante del plaguicida, provocando una posible subdosificación.

I.5. Compatibilidad química

En la formulación de los productos coadyuvantes, se emplean por lo general más de un tensoactivo con diferentes características físico-químicas y con diversas concentraciones, por lo que la generación de micelas es muy probable. La compatibilidad o incompatibilidad química de los herbicidas en mezcla, tiene una relación directa con la capacidad de solubilización e interacción química de los tensoactivos involucrados en la formulación de los mismos. La capacidad de solubilización micelar puede expresarse de cuatro formas diferentes dependiendo de los compuestos presentes:

1. **Microemulsiones:** estas se presentan cuando se está en presencia de aceites o hidrocarburos, la solubilización se da en el interior lipofílico de las micelas formándose “microgotas” rodeadas del tensoactivo y manifestada por una turbidez en la solución.
2. **Comicelización:** se da con la presencia de alcohol en la solución, el cual actúa como un “cosurfactante”. Este tipo de *micelas* presentan un gran poder de solubilización, producto del efecto sinérgico que proporciona la formación de micelas mixtas (con dos anfifílos), situación similar ocurre cuando se mezclan dos o más tensoactivos.
3. **Macroemulsiones:** se presentan con los aditivos insolubles en agua y en el interior lipofílico de la *micela* a la cual se absorbe en su superficie, formando “macrogotas” fácilmente visibles.
4. **Pseudoquelantes:** este tipo de solubilizantes, es característico de las micelas de tensoactivos no iónicos, donde las varias decenas de grupos de etileno secuestran a los compuestos orgánicos presentes en la solución.

La solubilización de tipo micelar en compuestos orgánicos y en solución acuosa es muy común y se puede verificar con la presencia de una turbidez o una precipitación,

mayormente visible cuando por dilución, se reduce la concentración del tensoactivo y las micelas liberan los aditivos que estas han solubilizado (FERNÁNDEZ 2004).

Cuando la concentración del tensoactivo en la solución es relativamente elevada, las *micelas* pueden agruparse y hasta deformarse en geles, cristales, líquidos y microemulsiones. Por este motivo cuando se dosifica un coadyuvante, debe considerarse que si se sobrepasa la CMC se corre el riesgo de que las micelas se agrupen de forma tal que secuestren las moléculas del plaguicida, reduciendo con ello la cantidad de ingrediente activo necesario para combatir la plaga de interés. El balance hidrofílico y lipofílico de los tensoactivos involucrados en una determinada combinación de compuestos puede inducir a la formación de micelas, así se observa en la Figura 9 donde al disminuir el HLB hay una mayor solubilidad de los compuestos en mezcla.

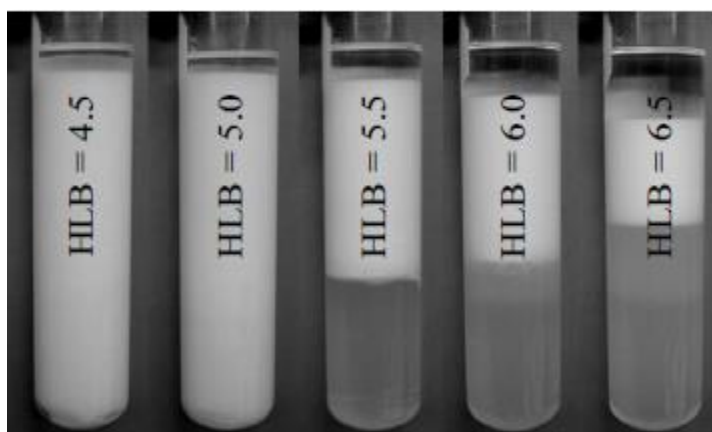


Figura 9. Modificación de la solubilidad con el cambio del balance hidrofílico – lipofílico<https://chefbusiness.co/glosario/2017/12/20/indice-hlb>

La incompatibilidad química en los plaguicidas puede generarse por:

- Incompatibilidad de los tensoactivos adicionados en la formulación del coadyuvante utilizado
- Formación de micelas por alta concentración de tensoactivos agregados con el coadyuvante y los incorporados en la formulación del plaguicida.

- Por la reacción de los grupos lipofílicos (larga cadena o ramificación de la cadena carbonada) entre los tensoactivos del coadyuvante y el o los plaguicidas en mezcla
- Características físico-químicas de los grupos hidrofílicos en contacto del coadyuvante y los plaguicidas en mezcla.
- Cambios en el balance hidrofílico - lipofílico de la mezcla.
- Por causa de la temperatura y el pH del medio.

La hidrosolubilidad de un tensoactivo no iónico cambia con la temperatura hasta lograr el llamado “punto de turbidez”, en el cual se presenta una separación en forma de pequeñas gotitas limitando con ello la hidrosolubilidad. Por el contrario, los tensoactivos no iónicos polietoxilados se vuelven menos hidrosolubles cuando la temperatura aumenta (FERNÁNDEZ 2004).

En el control químico de las malezas, la presencia de diferentes especies de plantas con estructuras que limitan la penetración, el transporte y el accionar de los herbicidas, es sumamente importante disponer no solo de coadyuvantes bien estructurados y balanceados químicamente, sino que estos intercedan positivamente en la compatibilidad de dichos herbicidas. Es común que el productor mezcle los herbicidas sin tomar en cuenta, que posiblemente una parte importante del ingrediente activo del o los herbicidas mezclados se encuentra inactivados o atrapados por los tensoactivos presentes en la solución a aplicar. Si hay alguna incompatibilidad puede que se manifieste de forma inmediata como en la Figura 10, sin embargo en otros casos, dicha incompatibilidad puede manifestarse en forma oculta, provocando con ello un deficiente control de las malezas.

Con los adelantos tecnológicos en el campo de la química, hoy en día es de esperar que las incompatibilidades entre plaguicidas sean cosa del pasado, cada vez aparecen nuevas moléculas más eficaces por presentar un mayor rango de acción, residualidad y menor dosificación, sin embargo se realizan pocos estudios de campo que revelen lo que no se observa a la vista detrás de un cristal.



Figura 10. Incompatibilidad en la mezcla de plaguicidas, manifestada con turbidez y formación de micelas.

En la Figura 11, se presenta el resultado de una incompatibilidad severa entre un herbicida pre emergente de reciente formulación y otro herbicida post emergente de uso común en la caña de azúcar; en la caja de la izquierda se aplicó la mezcla de ambos herbicidas y en la caja de la derecha solo el herbicida post emergente. Como criterio para evitar problemas con la efectividad de los plaguicidas, sobre todo en las mezclas se recomienda tomar en cuenta las observaciones señaladas en el Cuadro 4.



Figura 11. Resultado de una incompatibilidad química entre un herbicida post emergente y un herbicida pre emergente aplicado en mezcla (izquierda) y solo (derecha).

Cuadro 4.
Acciones a seguir ante diferentes condiciones de compatibilidad de plaguicidas y sus preparados para las aspersiones en el campo (JALIL 2015).

Grado	Condiciones	Resultado
1	Separación inmediata	No aplicar
2	Separación despues de 1 minuto	No aplicar
3	Separación despues de 5 minutos	Agitación continúa
4	Separación despues de 10 minutos	Agitación continúa
5	Estabilidad perfecta 30 despues de 30 minutos	Sin restricción

2. Clasificación de los Tensoactivos

Como se expuso anteriormente, los tensoactivos se pueden clasificar de varias formas, ya sea por su función como: humectantes, espumantes, emulsionantes, detergentes y antiespumantes. También se pueden agrupar por su origen, en orgánicos e inorgánicos o sintéticos como se aprecia en la Figura 12.

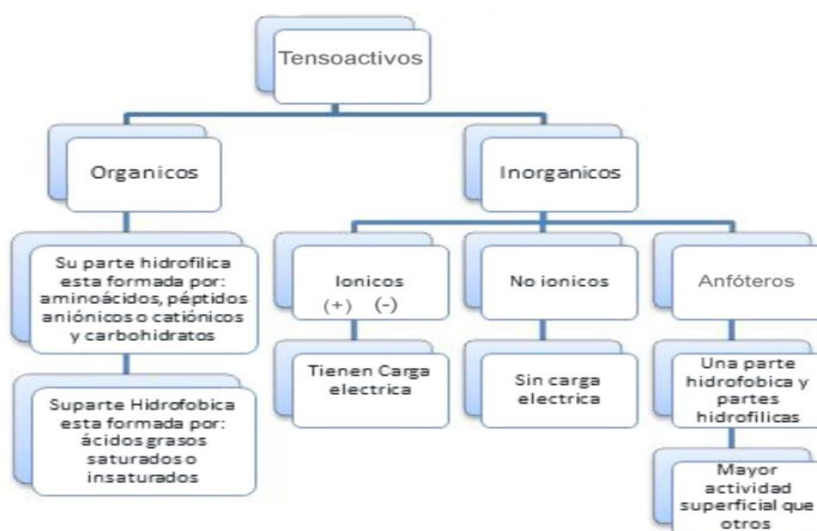


Figura 12. Clasificación de los tensoactivos de acuerdo a su origen y tipo de carga (MADOLET 2016).

Los tensoactivos orgánicos, presentan grupos funcionales de carácter hidrofílico como: aminoácidos, péptidos y carbohidratos y el carácter lipofílico se compone por ácidos grasos saturados e insaturados. Un ejemplo de un tensoactivo orgánico es la caseína de la leche, la cual mantiene disuelta y estable una grasa en agua. Por otra parte los tensoactivos inorgánicos se pueden agrupar de acuerdo a su carga eléctrica en iónicos, no iónicos y anfóteros. Por la importancia de estos tensoactivos, en la fabricación de coadyuvantes para la agricultura se tratarán sus cualidades con más detalle a continuación.

2.1. Clasificación de los constituyentes orgánicos de los tensoactivos

Se ha mencionado en este documento, un número importante de compuestos químicos de diversa naturaleza que forman parte de los tensoactivos, en la Figura 13 se presenta la clasificación de estos compuestos, para así disponer de un mayor entendimiento en este tema. Los hidrocarburos, formados solo por carbono e hidrógeno, son los compuestos orgánicos más simples en su composición, por ello es que se pueden tomar como base para hacer una clasificación de los compuestos orgánicos. El benceno es uno de los compuestos orgánicos más utilizados en la producción de tensoactivos después del etileno y los ácidos grasos.

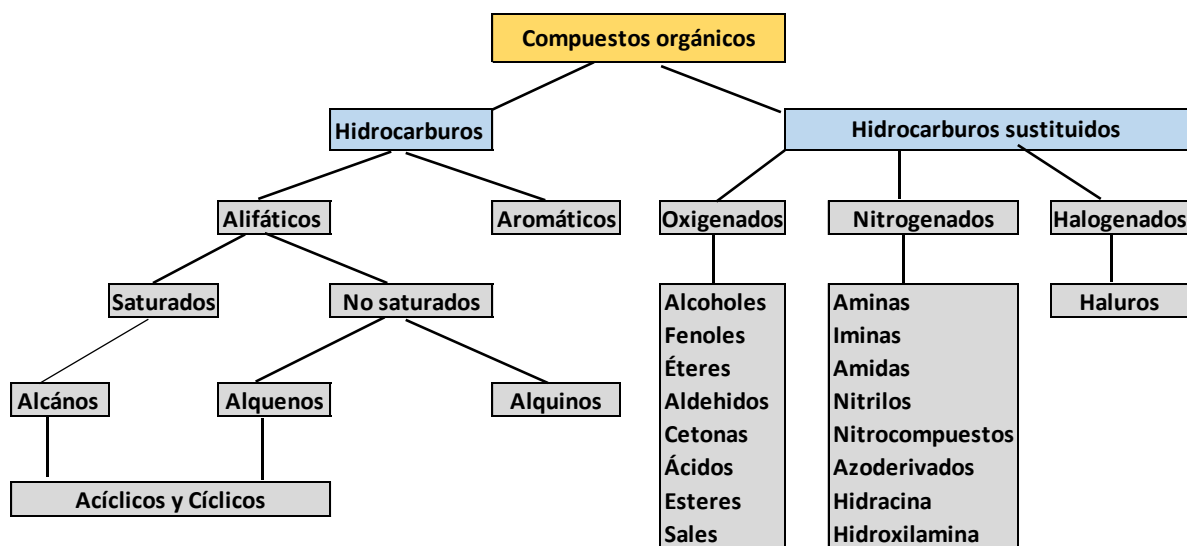


Figura 13. Clasificación de los compuestos orgánicos utilizados en la fabricación de tensoactivos (adaptado por Autor).

2.2. Tensoactivos sintéticos o inorgánicos.

Los tensoactivos sintéticos son fabricados bajo los mismos principios de los tensoactivos orgánicos, presentan un grupo no polar lipofílico, compuesto de una larga cadena hidrocarbonada (12 – 18 carbonos) y una porción de gran polaridad hidrofílica. El grupo hidrofílico está conformado por grupos funcionales como: ésteres, sulfónicos, sulfúricos, nitrógenos, alcoholes, ácidos carboxílicos etc. También debido a este grupo hidrofílico los tensoactivos inorgánicos se clasifican de acuerdo a su carga neta en iónicos (aniónicos y catiónicos), anfóteros y no iónicos.

2.2.1. Tensoactivos iónicos

Los tensoactivos iónicos como se mencionó, se dividen de acuerdo a su carga iónica neta en aniónicos, catiónicos y anfóteros. Las características de estos tensoactivo se resumen a continuación:

- **Tensoactivos aniónicos:** En solución se ionizan, pero considerando el comportamiento de sus grupos en solución, el grupo hidrofílico queda cargado negativamente por grupos (-COO-, -SO₃-, -O₂-, PO₃- etc.), unidos a cationes orgánicos e inorgánicos como (Na⁺, K⁺, Ca⁺², Ba⁺², Mg⁺², NH⁺⁴). Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Representantes de este grupo son los carboxilatos y derivados del ion sulfato o de sulfonatos, como ejemplo de estos compuestos se encuentran, el dodecil sulfato de sodio o dodecil benceno sulfonato de sodio.

En los tensoactivos aniónicos, cuanto más cerca se encuentre el grupo hidrofílico al final de la cadena hidrocarbonada, mejor funcionara este como detergente, mientras que similar compuestos con este grupo localizado cerca de la mitad de la cadena hidrocarbonada, pasaran a ser excelentes agentes humectantes, estos productos pueden ser fitotóxicos y el nivel de fitotoxicidad se incrementará si el grupo benceno se encuentra a la mitad de la cadena de carbonos (GARCIA 2003).

- **Tensoactivos catiónicos:** Los tensoactivos catiónicos, presentan en su extremo lipofílico una cadena de 8 a 25 átomos de carbono, derivados de un ácido graso o un derivado petroquímico y en la porción hidrofílica, una carga positiva proporcionada por un nitrógeno, el cual por lo general es un derivado del ion amonio (NH_3^+) en forma de sales de amonio cuaternario. Estos tensoactivos por lo general no son empleados en las formulaciones de herbicidas, son fitotóxicos y pobres detergentes; en general, son compuestos cuaternarios de amonio o una amina grasa en medio ácido.
- **Tensoactivos anfóteros o anfotéricos:** actúan dependiendo del medio en que se encuentren, en medio básico son aniónicos y en medio ácido son catiónicos, están constituidos por una cadena de grasa y un nitrógeno cuaternario conteniendo un radical aniónico, son productos completamente estables en sistemas ácidos y alcalinos (GARCÍA 2003).

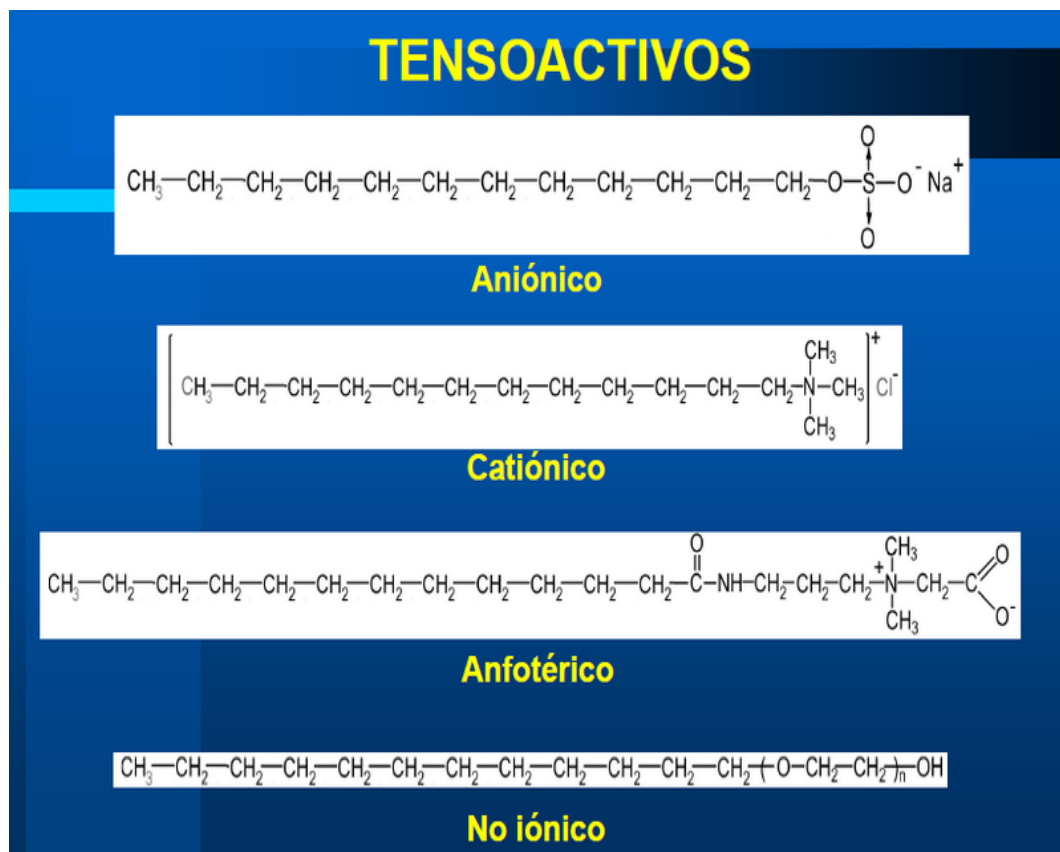


Figura 14. Ejemplos de tensoactivos iónicos y no iónicos (www.es.wikipedia.org).

2.2.2. Tensioactivos no-iónicos

Los tensioactivos no iónicos son los más utilizados en el mercado de los plaguicidas en la agricultura, por lo que requieren de un análisis más detallado. Durante los últimos 40 años, este tipo de surfactantes, han alcanzado cada día mayor importancia, hasta representar hoy día en más del 30% de la producción total de tensioactivos. Estos compuestos tienen la particularidad de no producir iones en solución acuosa, por lo que son compatibles con la mayoría de los tensioactivos; es por esto que pueden integrarse en formulaciones complejas. Por otra parte estos tensioactivos al no tener carga son menos sensibles a los electrolitos, especialmente a los cationes divalentes presentes en aguas duras como: calcio, magnesio, hierro etc.

Los tensioactivos no iónicos son buenos detergentes, humectantes y emulsionantes y además poseen excelentes propiedades espumantes y un muy bajo nivel de toxicidad por lo que se utilizan en la fabricación de fármacos, cosméticos y alimentos. Actualmente, se fabrican tensioactivos no iónicos para una gran cantidad de productos de uso doméstico e industrial, condicionados bajo forma de polvo o líquido (GARCIA 2009).

En su composición química los tensioactivos no iónicos presentan una cadena hidrocarbonada lipofílica compuesta por fenoles alquílicos, ácidos grasos y el correspondiente alcohol, adheridos a una segunda cadena la cual es hidrofílica conformada principalmente por óxidos de etileno ($\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O}$). Los óxidos de etileno pueden agruparse por medio de "enlaces" de hidrógeno y formar cadenas largas llamadas polióxidos de etileno, las cuales entre más largas sean estas, mayor solubilidad tendrá el tensioactivo (GARCÍA 2009). Por este motivo la presencia de una cadena de polióxidos de etileno, puede estimarse como levemente hidrofílico en un tensioactivo emulgente. Para obtener una buena solubilidad en agua, se requiere de por lo menos 5 a 7 grupos óxidos de etileno pero dependiendo también del grupo lipofílico presente. Sin embargo para ciertas aplicaciones se deben utilizar tensioactivos con 40 o más grupos de polióxidos de etileno incrementando mas así la parte hidrofílica que la parte lipofílica (FERNÁNDEZ 2004).

2.2.2.1. Principales tensoactivos no iónicos

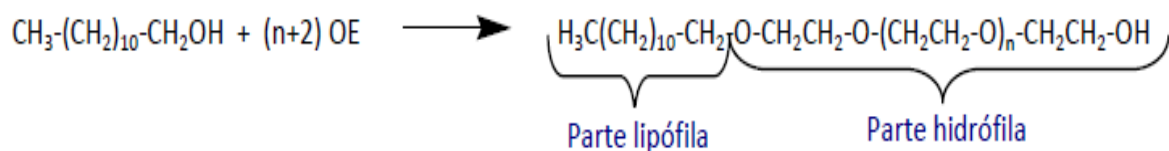
En el cuadro 5 se presentan los tensoactivos no iónicos más utilizados en el mundo donde sobresalen los alcoholes lineales etoxilados con un 40%, seguido por los alquil fenoles etoxilados con un 20% al igual que los esterres de ácidos grasos. Los derivados de aminas y amidas, así como otros compuestos con menor uso completan dicha lista. A continuación se mencionaran algunas características relevantes de estos tensoactivos.

Cuadro 5.
Porcentaje de uso de los principales tensoactivos no iónicos.

Tipo tensoactivo no ionico	% de uso del total
Alcoholes lineales etoxilados	40
Alquil fenoles etoxilados	20
Esterres de acidos grasos	20
Derivados de aminas y amidas	10
Copolimeros oxidos de etileno y propileno	-
Polialcoholes etoxilados	-
Tiolis (mercaptanos) etoxilados	-

A) Alcoholes lineales etoxilados

Los alcoholes lineales o sea no ramificados provienen de varias fuentes y al ser lineales les da la particularidad de ser rápidamente biodegradables. Presentan la siguiente estructura:



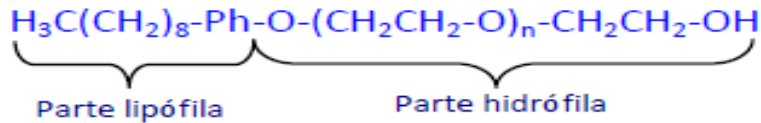
Los alcoholes utilizados en los tensoactivos, generalmente contienen entre 10 y 18 átomos de carbono, lo más común de 12 a 15.

La etoxilación, es un proceso químico industrial que consiste en la agregación de moles de óxidos de etileno a una cadena y la cual según su longitud tiene gran influencia en las propiedades específicas de estos productos. Por ejemplo, cuanto más prolongada es la cadena etoxílica, mayor es la solubilidad en agua y más elevada su temperatura de uso.

La cantidad de moles de óxido de etileno (MOE) presentes en el tensoactivo, determinara el uso que se le dé en la práctica. Para aquellos tensoactivos que tienen de 2 a 6 MOE, la solubilidad en agua será nula, siendo buena su solubilidad en aceites. En el caso de los tensoactivos que contienen 7 MOE, la solubilidad en agua será muy pobre formando soluciones turbias. Experimentalmente aquellos tensoactivos que contienen entre 7 y 15 MOE, tendrán las mejores propiedades emulsionantes y humectantes, incluyendo la detergencia. Aquellos compuestos condensados que contienen entre 15 y 20 MOE, lograrán formar emulsiones de gran estabilidad. El enlace éter de estos compuestos, les confiere además una gran estabilidad frente a los ácidos. Esta familia de tensoactivos, es biológicamente degradada en la cadena hidrofílica (etoxilada), mientras que la cadena cíclica-parafínica (hidrófoba) es extraordinariamente resistente a la biodegradabilidad. La degradación biológica total del nonil fenol con 8-9 MOE, es del orden del 40 al 50 %, siendo considerado ecológicamente un agente contaminante importante hoy día, razón por la cual los naciones desarrolladas están tomando serias medidas respecto a su empleo (SCHEUER 2010).

B) Alquil fenol etoxilados

Estos tensoactivos son muy similares a los alcoholes lineales etoxilados, los más comunes son los derivados del octil, nonil y dodecil fenol. Los nonil fenol etoxilados (NPE), han sido utilizados como surfactantes, emulsionantes, dispersantes y/o humectantes, en una gran variedad de aplicaciones industriales, en su mayoría productos de limpieza. Estos productos también presentan la característica de ser más biodegradables y menos tóxicos si la cadena alquilo es lineal, pero esta cadena puede también ser altamente ramificadas como las encontradas en los tipos más comunes octil, nonil y dodecil. La estructura química es la siguiente:



Los etoxilados de alquilfenol más utilizados son los etoxilados del nonilfenol (NPE) y, en menor grado, el octilfenol. Una vez emitidos al medio ambiente, los etoxilados de alquilfenol pueden degradarse de nuevo a alquilfenol, que es más persistente. A pesar de su baja volatilidad, han sido detectados en aire urbano, lo cual indica que pueden evaporarse desde agua o suelo contaminados. En los suelos y sedimentos, tienen la capacidad de unirse a las partículas orgánicas y minerales. Pueden ser degradados lentamente en el suelo y agua por acción de los microorganismos; sin embargo, en condiciones anaeróbicas este proceso es muy limitado. Sus metabolitos pueden lixivarse hasta las aguas subterráneas y suelen ser más persistentes, hidrofóbicos y biológicamente más activos hasta bioconcentrarse en peces, algas, aves, moluscos y crustáceos.

Se ha propuesto que estos compuestos, pueden sufrir fotólisis tanto en agua como en el suelo, pero esta es baja en condiciones naturales. Uno de sus principales metabolitos, el nonilfenol, presenta una vida media por fotólisis de 10 a 15 horas. Su degradación es más lenta conforme aumenta su número de grupos etileno (SCHEUER 2010).

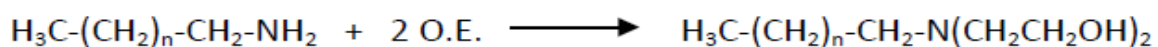
Por este motivo a partir del 17 de enero del 2017, el parlamento y consejo europeo prohibió su uso como sustancia o componente en preparaciones similares o superiores al 0.1% por masa en la preparación de pesticidas, por considerar a estos compuestos, como responsables de producir disruptores endocrinos (supresores de hormonas naturales).

C) Esteres de ácidos grasos

Existen en el mercado dos tipos de aceites, el mineral (subproducto de la destilación del petróleo) y el vegetal; para este último hay dos tipos de aceite: el aceite vegetal “desgomado” (libre de impurezas como fosfolípidos, gomas y proteínas) y el aceite vegetal metilado de soya (mezcla de aceites emulsionables).

D) Derivados amidas y aminas

Los etanos amidas o aminas etoxiladas, se obtienen también a partir del óxido de etileno por reacción con aminas grasas. Estos tensoactivos se utilizan como aditivos para preparar emulsiones de asfalto que se adhieren al lecho de roca, piedra o cemento. Son poco sensibles al agua pura y actúan como agentes espumantes, emulsionantes y dispersantes en una amplia variedad de productos de uso doméstico, farmacéutico y cosmético (SANZ 2019).



Al añadir más óxidos de etileno, las aminas etoxiladas pierden poco a poco su carácter catiónico para transformarse en surfactantes predominantemente no iónicos. Son también excelentes agentes emulsionantes y dispersantes y presentan una mayor facilidad para ser absorbidas y penetrar la cutícula, pared celular y membrana celular (FERNÁNDEZ 2014).

E) Órgano siliconados

Los tensoactivos órgano siliconados, debido a su alta capacidad para disminuir la tensión superficial y expandir la gota, se recomienda muy en especial para aquellas aplicaciones en que el ambiente, tipo, densidad y tamaño de las malezas es un factor determinante para el éxito.

En su composición química como se observa en la Figura 15, el grupo hidrofílico está compuesto por una cadena de óxidos de etileno y la porción lipofílica compuesta por moléculas de silicio unidas a grupos metilos, los cuales de acuerdo a su número de dividen en trisiloxanos, tetraloxanos o polixiloxanos.

Cuadro 6.
Tensión superficial y capacidad de dispersión de diferentes tipos de tensoactivos
órgano siliconados.

Agente siliconado	Tensión superficial	Dispersión de la gota
0,10%	Dinas /cm	mm ²
Trisiloxano	21,9	172
Polisiloxanos	23,6	2
Tetraoxanos	24,2	12
Nonil Fenol Etoxilado	31,8	4
Agua	72	1

Es importante tomar en cuenta algunas consideraciones cuando se utilizan este tipo de tensoactivos ya que son muy inestables a valores de pH extremos debido a que los enlaces de silicio y oxígeno se hidrolizan bajo condiciones muy ácidas o muy básicas; Kogan (2001) recomienda que el pH ideal de la solución debe estar entre 6 y 8. También indica que los tensoactivos órgano siliconados cuando se mezclan con los tensoactivos convencionales, tienden a perder su capacidad sobresaliente en la disminución de la tensión superficial. Esta incompatibilidad, es atribuible a una competencia entre los segmentos lipofílicos de ambos tensoactivos por la interface, entre la gota y la superficie foliar.

F) Mezclas de tensoactivos

Los fabricantes de coadyuvantes, por lo general al formular los mismos, utilizan diferentes tensoactivos en mezcla, con la finalidad de aprovechar las ventajas que ofrecen estos en una acción específica. También se pueden realizar mezclas de dos coadyuvantes con cualidades importantes con la finalidad de lograr incrementar el accionar de los mismos en ciertas condiciones especiales. Una mayor dispersión, penetración, acidificación y una antideriva, son ejemplos de acciones que promueven esta práctica de combinar coadyuvantes para mejorar el accionar de los plaguicidas en general. Los fabricantes de coadyuvantes deben conocer las capacidades de los tensoactivos para formular y obtener en ellos las mejores ventajas, en el Cuadro 7 se presentan las características sobresalientes de algunos tensoactivos. Por ejemplo, LEIVA (2013), menciona que para los casos de

requerirse una penetración efectiva se recomienda reforzar el aceite que es un buen surfactante con un tensoactivo órgano siliconado el cual es un buen penetrante. Este incluye un aceite vegetal metilado más una dosis doble (30%) de un órgano siliconado como el Silwet L77. Algunas experiencias de investigación con estas mezclas se presentaran más adelante (LEIVA 2013).

Cuadro 7.
Posicionamiento de algunos tensoactivos según sus atributos
(JALIL 2015 adaptado por el autor).

Grupo	Tensoactivo	Penetrante	Surfactante	Antievaporante	Clasificación
Vehículo	Agua	10%	10%	10%	Vehículo
No Aceites	Nonil Fenol Etoxilado	20%	50%	20%	Humectante
	Alcohol Graso	20%	60%	20%	Humectante
	Lecitina	70%	30%	20%	Penetrante
	Organo Siliconado	80%	100%	20%	Humectante y Penetrante
Aceites	Aceite desgomado	20%	10%	90%	Antievaporante
	Aceite mineral	70%	20%	90%	Antievaporante y penetrante
	Aceite metilado	70%	30%	90%	Antievaporante y penetrante
	Organo Siliconado + Aceite metilado	100%	80%	90%	Humectante Penetrante y humectante

3. Coadyuvantes

3.1. Importancia de los Coadyuvantes

Los coadyuvantes son compuestos químicos que se adicionan a los herbicidas y sus mezclas con la finalidad de mejorar su efectividad, al servir de intermediario o de enlace entre el herbicida, el agua, y las estructuras de la planta. Los mismos, agregados a la disolución de los herbicidas con el agua, vienen a fortalecer su solubilidad, la compatibilidad y sobre todo

la dispersión y penetración en las plantas asperjadas, venciendo barreras químicas, físicas y ambientales hasta alcanzar en el menor tiempo posible los puntos de acción o sumideros.

Los herbicidas en su estado de ingrediente activo (Sin formular) son insolubles en agua o sea son de carácter lipofílico y bastante compatible con el carácter lipofílico de la cutina, (capa superficial de las hojas). Los herbicidas al ser formulados se convierten en compuestos solubles en agua (hidrofílicas), situación que limita sustancialmente su posible penetración a la planta vía foliar, debido a la capa cerosa de la cutícula. Si se lograra aplicar un herbicida disuelto en solventes orgánicos y no en agua, penetraría fácilmente la cutícula, pero posteriormente al interiorizarse en la epidermis de la hoja tendrá impedimentos mayores debido a que la composición de la cutina cambia paulatinamente con sustancias cada vez más hidrofílicas, como el ácido poligalactourónico principal constituyente de la pectina, hasta alcanzar la pared celular, la cual también es altamente hidrosoluble (Alfaro 2010).

Como se aprecia, resulta difícil lograr que un herbicida llegue intacto y en forma rápida a los puntos de acción “sumideros”, debido a la variante constitución química de las estructuras foliares de la planta. Ante esta situación, los tensoactivos adicionados al formular el herbicida, vienen a interceder entre el herbicida y dichas variaciones para permitir que el mismo, logre sobre pasar con éxito y más rápidamente estos impedimentos químicos.

En concreto los coadyuvantes presentan la particularidad de servir químicamente como un compuesto intermedio entre el herbicida, el agua y las estructuras de la planta, incrementando la capacidad de desplazamiento y penetración del herbicida hasta alcanzar en el menor tiempo posible los puntos de acción ,independientemente del carácter de solubilidad que presente el herbicida comercial. En concreto el coadyuvante es el compuesto utilizado como un medio de reunir los beneficios de los tensoactivos en un solo producto químico.

Como se observa en el Cuadro 8, existen una gran variedad de productos comerciales de distinta composición química y diversos mecanismos de acción, capaces de realizar

múltiples funciones, al punto que algunos pueden alterar el comportamiento típico y esperado de un herbicida.

Cuadro 8.
Principales coadyuvantes disponibles en el mercado de agroquímicos en Costa Rica.

Distribuidor o Fabricante	Nombre comercial	Clasificación	Composición
Bayer	NP7	Emulsificante, Adherente, Humectante y Penetrante	Nonilfenol poliglicol eter
DOW	KAITAR ACT SL	Emulsificante, Humectante, Antiespumante	Ácido dodecibencensulfónico Octifenoxietoxilado Isopropanol, silicona fosfatos sodio y potasio Hidroxido sodio
BAYER	ADHERENTE 810 SL	Emulsificante, Adherente, Penetrante, Humectante	Nonil phenoltoxilate
FARMAGRO	EXT 100 EC	Coadyuvante activador	Poly metileno poly oxi propileno Poly oxitileno ethil alkilamina
AGRO COSTA	LIMONOIL 15 % SL	Surfactante, Penetrante, Solvente	Petroleum oil
COSMOCEL	INEX 27,65 % L	Penetrante	Eter de polietilenglicol Glicol con óxido de etileno Dimetil polisilosano
CRISTAL CHEM	LI 700	Ácidificante, Surfactante, Penetrante,	Fosfatidilcolina Ácido metilacético Aquil polioxi etileno eter
AGRICOLA PISCIS	AGREX F 32,2 SL	Penetrante, Adherente, Dispersante, Humectante, Antiespumante	Nonil fenol polioxi etileno, diotil sulfo succinato
AGRICOLA PISCIS	AGREX ABC 50 SL	Acidificante, Dispersante, Humectante, Penetrante	Diotil sulfo succinato Acidificante orgánico
AGRICOLA PISCIS	BB5 78 SL	Dispersante, Humectante, Penetrante, Antiespumante, Acidificante.	ácido ortofosfórico
FEDECOOP	NUFILM 17,96 % L	Adherente, dispersante, Humectante, Extensor	Pinolene
QUIMIA -EUROSEMILLAS	SURFACID COAD	Acidificante, Dispersante, Adherente, Humectante, Emulsificante, Penetrante, Adherente, Antiespumante	Alcohol tridecílico polioxi etileno, ácido fosfórico
ECOGREEN	INDAGRO H	Dispersante, Penetrante	Alquil aril sulfonato, polietoxilato, sales sódicas, cloruro sodio

Continuación Cuadro 8

Distribuidor o Fabricante	Nombre comercial	Clasificación	Composición
COSMOAGRO	COSMO FLUX 411 F	Coadyuvante estereo específico	Alcohol etoxilado Aril etoxilado Isoparafinas líquidas
COSMOAGRO	COSMO IN D 27 SL	Penetrante, Surfactante, Antiespumante,	Alcohol etoxilado Polyoxiethylene alquil ether
AGROSUPERIOR	WK 85 SL	Penetrante, Humectante	Monoxinol
LAQUINSA	SURLAQ 25 %	Humectante, Penetrante.	Alquil aril polietoxilatos Alquil sulfosuccinato Oxido polalquil hetome trisilosano
STOLLER	CARRIER EC	Microencapsulador, Potenciador	Aceite vegetal
COLONO	SILWETT L77	Órgano siliconado	Polialquileóxido Heptamethyltrisilosano
COLONO	TRANSPORE 30,4 SL	Penetrante, Humectante, Dispersante	Nonil fenol polietoxilado, glicoles
AGRICOLA PISCIS	AGREX RP 25,7 SL	Humectante, Penetrante y Dispersante	Agentes tensoactivos, diluyentes y acondicionadores
MILLER	SUSTAIN 100 L	Adherente, Dispersante, Protector	D-1-p menteno 96 % (Pinolene)
AGRIAL	SINER VEGETAL OIL 93 EC	Humectante y Penetrante,	Aceite de soya
EXENOS	PROTEXTIL 50 SL	Surfactante	Nonil fenol etoxilado,
EL COLONO	AGRIFUL	Fertilizante	Ácidos fúlvicos
SAGAL	DAP PLUS 70 SL	Dispersante, Penetrante, Antiespumante	Polialcoholes y glicoles
ECOINSUMOS	SURCO COADYUVANTE SC	Dispersante, Penetrante, Antiespumante	Eter de polietilenglicol, Glicol con óxido de etileno, Dimetil polisiloxano
BASF	BREAK THRU 100 SL	Humectante, Dispersante, Penetrante	Copolimero polyetileno
ECOGREEN	INDAGRO ACIDOS HUMICOS 15 % L	Fertilizante	Ácidos húmicos y fúlvicos
SAGAL	DREXEL PAS 80	Penetrante, Surfactante, Acidificante	Fosfato dicolina, ácido metil acético, Eteralkil polietileno
BIO CONTROL	KEMKOL 99 EC	Penetrante, surfactante	Aceite de soya, tensoactivos
SAGAL	SAGAFILM	Adherente y Dispersante	Mezcla de resinas acrílicas
SUPLIDORA VERDE	COUPLEX 46,5 L	Compatibilizador	Ácido carboxílico orgánico

A pesar del gran desarrollo alcanzado en este campo y la gran disponibilidad de productos; el conocimiento sobre su uso apropiado es escaso, lo que ha dificultado en muchos casos obtener de ellos un mayor beneficio. La gran mayoría de los adyuvantes, presentan múltiples funciones que le permiten ejercer un mayor y mejor efecto ante cualquier molécula de herbicida utilizada por el producto.

3.2. Clasificación de los coadyuvantes

En la Figura 16, se presenta la clasificación más simple de los coadyuvantes considerando su funcionalidad, así se divide en surfactantes o humectantes, en adherentes, acidificantes y penetrantes, en otras clasificaciones se agregan acciones utilitarias como espumantes o antiespumantes. Estas acciones proporcionadas por los coadyuvantes, se derivan como se mencionó de los tensoactivos incorporados en la formulación de los mismos, aspectos como el largo de la cadena lipofílica, si es lineal o ramificada, los grupos funcionales utilizados, su ubicación en la cadena entre otros aspectos, será determinante para el accionar principal del coadyuvante. Todos los coadyuvantes presentan total o parcialmente las diferentes acciones aquí descritas, por ello se presenta en las etiquetas de los coadyuvantes la combinación de acciones combinando siempre la acción surfactante adherente, surfactante acidificante, o surfactante penetrante.

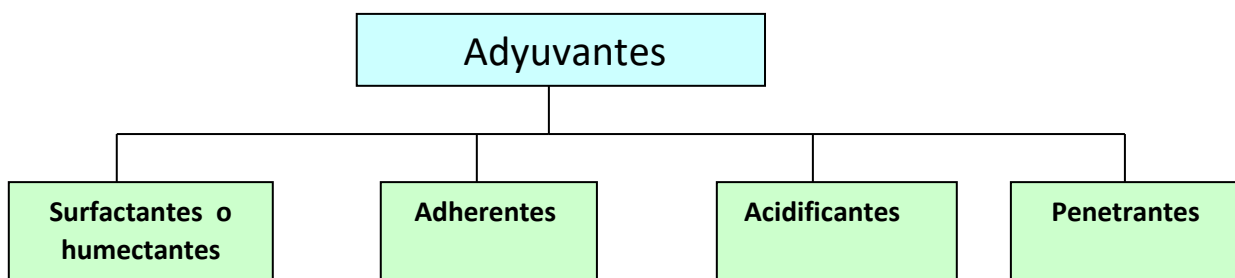


Figura 16. Clasificación de los coadyuvantes de acuerdo a su capacidad de acción.

Ante esta condición para describir en detalle las particularidades en el accionar de los coadyuvantes, se discutirán a continuación por separado las características descritas con anterioridad y en las que se basa el principal accionar de los mismos.

3.2.1. Acción surfactante o humectante

La acción surfactante de un coadyuvante, consiste en disminuir la tensión superficial de la gota del pulverizado, permitiendo mejorar el cubrimiento sobre el follaje. Este efecto se logra gracias a la naturaleza emulgente del tensoactivo o tensoactivos involucrados, que

consta como ya se ha descrito en su estructura química de dos porciones, una porción hidrofílica compuesta por grupo o grupos funcionales, y una porción hidrofóbica compuesta por una cadena hidrocarbonada soluble en aceite (Alfaro 2010).

La intensidad de la reducción de la tensión superficial varía con el tipo de tensoactivo utilizado; por ejemplo es máximo con un órgano siliconados (22 dinas/cm) y menor con los nonilfenoles (32 dinas/cm), y ambos menores con respecto al agua (72 dinas/cm).

Una diferencia importante entre ambos tipos de tensoactivos, es la afinidad con la cutícula, también muy superior en los órganos siliconados, y por, consecuencia de una mayor absorción de dosis por unidad de tiempo. La calidad de un coadyuvante en una función específica, la determina el tensoactivo usado para darle al coadyuvante la función deseada; en la Figura 17 se presenta el resultado de un estudio realizado por el autor al evaluar diferentes coadyuvantes en su capacidad de dispersión (surfactante o humectante) sobre un papel encerado, encontrándose diferencias entre ellas a pesar de que la mayoría de ellos se recomiendan por el fabricante con esta función.

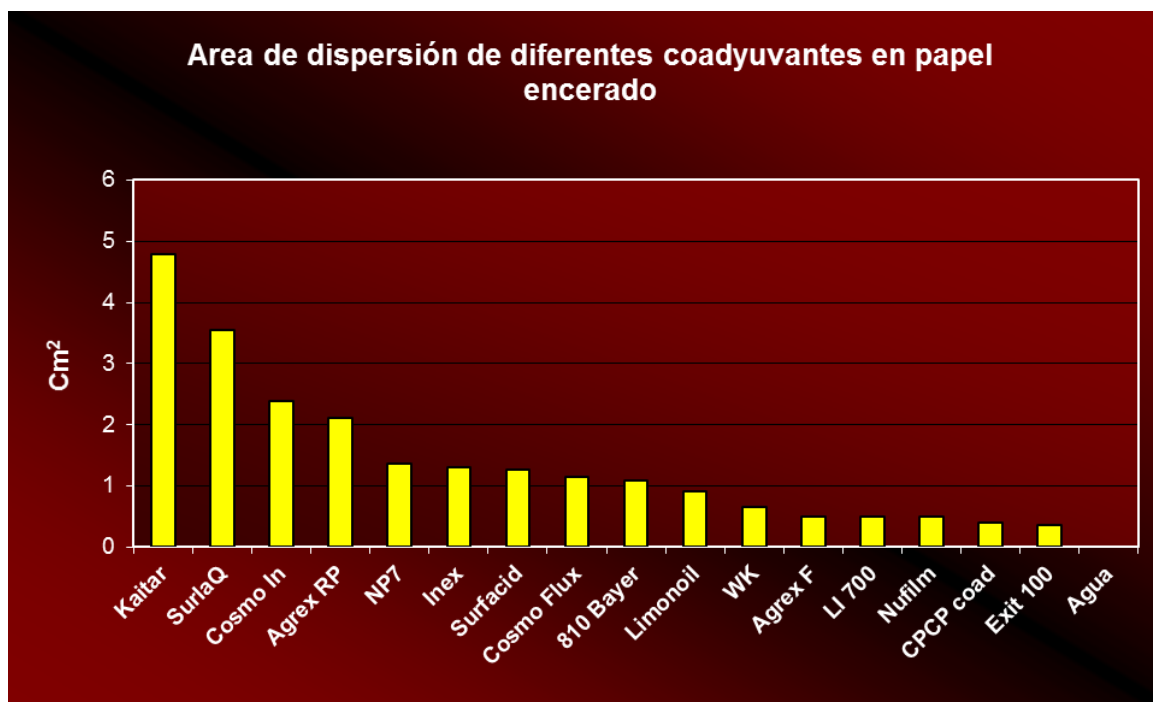


Figura 17. Evaluación de la capacidad de dispersión (cm²) de diferentes coadyuvantes aplicados sobre papel encerado.

3.2.2. Acción Penetrante

Existe un grupo de coadyuvantes que además de sus características surfactantes, presentan gracias a su composición química una mayor capacidad de adsorción, por lo que se les clasifica como penetrantes.

Los penetrantes logran aumentar la tasa de absorción del ingrediente activo, mejorando con ello, la movilidad de este a través de la cutícula. Entre este tipo de coadyuvantes, existe un grupo que utiliza tensoactivos con base en aceite en su composición, para disolver la capa cerosa de la cutícula y así facilitar la penetración, pero provocando con ello en algunas ocasiones un estrés en la planta. Ante esto se podría pensar que esta alteración en las malezas es beneficiosa; sin embargo, se considera que, el daño producido por los aceites más que beneficioso no es deseable; porque al aplicar cualquier herbicida sistémico se requiere que la planta esté en óptimas condiciones para que este y demás herbicidas que componen la mezcla, sean capaces de translocarse por toda la planta.

Por otra parte hay un segundo grupo de coadyuvantes que utilizan en su composición derivados de la Lecitina de Soya (LI 700), los cuales, modifican temporalmente la estructura de la cutícula, sin llegar a disolverla, permitiendo con ello aumentar la entrada del herbicida sin producir daño en los tejidos vegetales, sean cultivos o malezas. También es importante agregar, que al igual que los aceites, el sulfato de amonio y en especial el ion amonio (NH_3^+) contribuye en la disolución de la capa de cutina que recubre las hojas favoreciendo la penetración del caldo.

Existen factores que afectan la tasa de penetración y los mismos están relacionados con la planta como son el grosor y composición de la cutícula, también hay factores inherentes al herbicida como son el tamaño de la molécula y su polaridad y sin faltar factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, y precipitación (Holway 1994, citado por PRADO *et al* 2001).

3.2.3. Acción Adherente

Los adherentes en general mejoran la deposición y retención del herbicida sobre la hoja, disminuyendo el posible lavado por parte de la lluvia. Se recomienda para herbicidas de contacto ya que su eficiencia dependerá de su permanencia en la hoja de la maleza.

Existen adherentes cuya composición básica radica en dos ingredientes activos como son: resinas de pino y látex sintéticos. No se debe confundir, los tensoactivos cuya principal función es la dispersión con aquellos que indiquen ser adherentes, ya que si bien pueden mejorar en algo la deposición en caso de lluvias, su penetración va ser difícil y probablemente al tardar más tiempo sobre las hojas, su posibilidad de descomponerse o inactivarse por cualquier vía será mayor. En general como se dijo anteriormente los términos adherente y penetrante son términos que se anteponen en el uso de herbicidas.

3.2.4. Acción Acidificante

Los adyuvantes con acción acidificante, tienen la capacidad de disminuir el pH del agua con el objeto de minimizar las pérdidas por degradación alcalina; reacción que sufren algunos herbicidas en presencia de aguas con pH superiores a 7 y que reducen la efectividad del ingrediente activo.

La magnitud de esta degradación en realidad dependerá de la dureza del agua (Cantidad de iones de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} y Al^{+3}), del ingrediente activo, y el tiempo que transcurre posterior a la preparación del caldo de aspersión hasta el secado de la misma en la lámina de la hoja. La mayor parte de los agroquímicos se verán favorecidos con el uso de aguas con pH entre 4 y 6.

La hidrólisis alcalina que sufren varios insecticidas ha sido muy documentada, pero por el contrario en el caso de los herbicidas este fenómeno ha sido muy poco estudiado con excepción del herbicida Glifosato, que por su investigación se ha logrado definir un pH óptimo de 2,5 y 3,5, respectivamente.

Esta situación ha generado mucha controversia al recomendar acidificar o acondicionar las aguas para evitar la hidrólisis alcalina en moléculas de herbicidas que no se ven seriamente afectadas por este fenómeno. No existe una recomendación general para todos los herbicidas ni sus mezclas, por lo que debe valorarse cada una de ellas en condiciones de alta dureza en las aguas y sobre todo en algunos sectores del país (Kogan 2001).

Dentro de este grupo de coadyuvantes, tanto el ácido fosfórico como los derivados del ácido EDTA (etilen diamina tetracético) tienen la propiedad de corregir el agua (efecto tampón o buffer), regulando los valores de pH de la solución. Cabe recordar que las aguas provenientes de fuentes (ríos y pozos) en las plantaciones de caña de Guanacaste presentan mayor dureza que las aguas de otras regiones cañeras del país, y que los plaguicidas tienen una mayor vida media a pH ácido, aproximadamente 5; por lo tanto resulta conveniente acidificar previamente el agua para mejorar su accionar. Debe quedar claro que esta medida no debe ser generalizada y antes de corregir el pH del agua debe analizarse el agua y los herbicidas a utilizar, para saber si es conveniente esta medida.

Para aguas duras (altas concentraciones de iones alcalino térreos como el calcio y magnesio, resulta necesario secuestrarlos o transformarlos en quelatos (anularles la carga eléctrica) de manera tal que no puedan reaccionar químicamente con los plaguicidas.

Un ejemplo de secuestrante de cationes es el sulfato de amonio, cuyo anión sulfato (SO_4^{4-}) se combina con calcio y magnesio produciendo sales insolubles ($CaSO_4$ y $MgSO_4$), además algunos herbicidas presentan niveles de absorción preferencial cuando están combinados con el ion amonio (NH_4^+) (LEIVA 2013).

La corrección del agua con sulfato de amonio deber anticiparse 30 minutos a la carga y con el sistema de retorno en marcha, para garantizar una buena solubilización de la sal y evitar luego cortes en las mezclas de tanque. Los herbicidas que responden positiva y significativamente a la corrección de dureza son: glifosato y 2,4-D amina (LEIVA 2013).

3.2.5. Acción Antiespumante

Los tensoactivos antiespumantes son diversos, algunos son fluorocarbonados, polixiloxanos, siliconas, aceites minerales o ácidos grasos. Todos ellos evitan que el caldo

retenga aire. Ciertas formulaciones o mezclas producen espuma. Las consecuencias de la espuma son básicamente tres: contamina el ambiente porque la espuma rebalsa el tanque durante el llenado, no permite completar la carga y, dado que el aire es compresible, produce un flujo pulsante a nivel de pastillas. El antiespumante elimina la espuma una vez producida, pero resulta conveniente detectar el problema en una muestra piloto y agregarlo siempre al agua como paso previo a la incorporación de plaguicidas (LEIVA 2013).

3.2.6. Acción Antieaporante

Estos tensoactivos, presentan la particularidad de producir un efecto de recubrimiento exterior de la gota con un anillo protector, pueden ser alcoholes de cadena larga (polar y no polar) y los aceites (mineral y vegetal). Cuando los aceites son emulsionables, la gota al salir del pico aspersor presenta un tamaño menor, esto a consecuencia de que el líquido está sometido a la presión recomendada (40-60 lb/p²), y cuando sale al exterior se encuentra nuevamente con la presión atmosférica (14.7 lb/pag 2); dicho cambio hace estallar la gota por efecto de la baja de tensión superficial que provee el emulsionante. Agronómicamente el fenómeno descrito, reviste de una gran importancia, ya que las gotas más pequeñas y en mayor cantidad, ofrecen una mejor cobertura de hojas y una mayor penetración. El efecto antieaporante, se mantiene luego de impactar sobre la hoja, factor que favorece la continuidad de la penetración del caldo; y en la medida que se evapora el agua, el plaguicida se disuelve en el aceite (LEIVA 2013).

3.3. Formulación de los coadyuvantes

Como se indicó con anterioridad, los fabricantes de coadyuvantes por lo general emplean en la formulación de los mismos más de un tensoactivo, para ofrecer diversas funciones, sobresaliendo alguna de ellas en especial debido a cambios sobre todo en su estructura química.

En el Cuadro 9 se puede apreciar la clasificación de los tensoactivos primero con base en los grupos químicos a los que pertenecen, los cuales a la vez determinarán las funciones que dichos productos ejercerán ya sea como: dispersantes, humectantes, penetrantes

antiespumantes y acidificantes. Con base en estas funciones descritas en las etiquetas de los coadyuvantes, se han ubicado los mismos entre los diversos grupos químicos a los que pertenecen los tensoactivos que forman parte de cada coadyuvante. Un ejemplo se observa en dicho cuadro con el coadyuvante Silwet L 77, el cual la acción de penetrante se lo dan las siliconas y la acción de surfactante lo obtiene de los alcoholes tridecíclicos.

Cuadro 9.

Clasificación de los tensoactivos presentes en los diferentes coadyuvantes comerciales.

Grupo	Tensoactivos	Funciones	Carácter iónico	Coadyuvantes
Alcoholes Etoxilados	Monoxinol (Nonil Fenol Etoxilado) Alquil fenoles etoxilados Aril Etoxilados Nonil fenil eter Eter de nonil fenol etoxilado Octil fenol mono etoxilado	Detergentes Dispersantes Antiespumante Humectantes	No Iónicos	Adherente 810 SL Kaitar Act SL Cosmo Flux 411 F Cosmo In D 27 SL CPCP Coad WK 85 SL Adherente 810 SL Protexil 50 SL
Alcoholes Tridecíclicos (Polialcoholes Etoxilados)	Polioxipropileno Tridecil eter Alquil aril polieter alcohol Alquil aril polietoxilados Alquil fenoles polietoxilados Alquil fenohidroxi polioxietileno Nonil fenoxi polioxietanol Polioxietileno alquil eter nonil fenol polioxietileno	Detergentes Dispersantes Antiespumante Humectantes	No Iónicos	Agrex F32 SL Indagro H Drexel Pas 80 Cosmo In D 27 SL Surlaq 25 % Transpore 30,4 SL Silwett L77
Esteres de Glicerol (Ácidos Grasos etoxilados)	Polietilenglicol eter Polipropileno glicol polioxi etileno Eter glicol nonil fenol polietileno Polietileno glicol propoxilado Alquil aril poliglicol eter Nonil fenol poliglicol eter Etilenglicol	Emulsionantes Dispersantes Malos humectantes Antiespumantes Penetrante	No Iónicos	NP7 Inex 27.65 SL Cosmo Flux 411 F Transpore 30,4 SL Dap Plus 70 SL Surco cod SC
Alcoholes Tridecíclicos no Etoxilados	Poli metileno Poli oxi propileno Poli oxi etileno eter Mono estearato de polioxietileno Eter de polioxietileno nonil fenolico	Humectante Dispersantes Penetrante	No Iónicos	Exit 100 EC LI700 Surfacid coad Break Thru 100 SL

La información obtenida en las etiquetas sobre la composición química de los coadyuvantes en algunos casos es muy escasa o ambigua lo que dificulta el poder determinar la similitud o contraste entre los diferentes coadyuvantes del mercado

Continuación del cuadro 9.

Grupo	Tensoactivos	Funciones	Carácter ionico	Coadyuvantes
Sulfonatos	Alquil benceno sulfonato sodico Dodecil benceno sulfonato sodico Sulfato de sodio del eter del polioxietileno Lauril sulfosuccinato de sodio Alkil aril sulfosucinato Diotil sulfo succinato sodio	Detergentes Sinteticos Espumante Humectantes	Anionicos	Kaitar Act SL Agrex F32,2 SL Agrex ABC 50 SL Indagro H Surlaq 25 % Kenkol 99 EC
Nitrogenados	Dietano amina Hidroxietil amina Alkano amina Alcohol amina Alkil amina Etanol amina	Espumantes emulsionantes dispersantes	No Ionicos	Exit 100 EC
Trigliceridos (aceites y grasas Naturales)	Acido palmitico y estearico Acidos grasos insaturados Lecitina de soya Fosfatidil colina Fosfatasa alcalina	Penetrante	No Ionicos	LI 700 Carrier EC Siner vegetal oil 93 EC Kenkol 99 EC
Organofosforados	Acido fosfórico	Acidificante Penetrante dispersantes Antiespumante	Anionicos	BB5 78 SL Surfacid coad Drexel Pas 80
Siliconas	Polimetil silosano Dimetil siloxano Isopropanol silicona Dimetil polixilosano Dimetil siliconas Aceite de siliconas Trisilosano modificado polieter Heptametil trisilosano	Penetrante	Anionicos	Inex 27.65 SL CPCP Coad Kaitar Act SL Silwet L77 Surlaq 25% Surco cod SC
Acidos Carboxilicos	Alquil carboxilatos Esteres de ácidos carboxilicos Acidos carboxilicos polietoxilados	Humectantes Dispersantes	Anionicos	Couplex 46,5 L Sagafilm
Otros	Acido metil acetico Hidróxido sodio Fosfatos sodio y potasio Acidificante org Pinolene Sales sódicas			LI 700 Kaitar Act SL Agrex ABC 50 SL Nufilm 17,96% L Sustain 100 L Drexel Pas 80

4. El uso de coadyuvantes en la caña de azúcar

Se han realizado muchas investigaciones por parte de DIECA en el control químico de malezas en el cultivo de la caña de azúcar y muy en especial en el control de *Rottboellia cochinchinensis*. La importancia económica que reviste esta maleza en este y en otros cultivos en el mundo, ha motivado a establecer pruebas diversas que permitan ofrecer al productor cañero diferentes alternativas de control efectivas y económicas. Los resultados obtenidos al día de hoy, son satisfactorios y revelan cuales son los mejores herbicidas y sus mezclas para controlar esta maleza, sin embargo, las altas dosis empleadas incrementan significativamente el costo del control.

En teoría una forma de reducir las dosis de los herbicidas empleados sin afectar el control es mediante el uso de coadyuvantes, pero en la práctica es poco lo que se conoce al respecto y lo que ha imperado son recomendaciones generalizadas sobre su uso y aplicación. Por lo tanto la adición de un coadyuvante en la solución a pulverizar podría no tener efecto sobre la fitotoxicidad esperada en la maleza o por el contrario podría aumentar o retrasar la misma por la existencia de antagonismos y sinergismos entre las moléculas de una mezcla determinada y el coadyuvante empleado.

Ante la ausencia de resultados de investigación e información concerniente al uso de coadyuvantes con los herbicidas, se realizaron diversos trabajos preliminares de investigación con el fin de conocer la respuesta de los diferentes coadyuvantes agregados en solución con cuatro herbicidas post emergentes muy utilizados en el control de la maleza *Rottboellia cochinchinensis*.

Idealmente cada coadyuvante debería estar recomendado por el fabricante para su uso en herbicidas determinados. No obstante en la actualidad con la gran cantidad de coadyuvantes disponibles en el mercado es poco probable conseguir plantear usos determinados, por lo que es necesario obtener un conocimiento de la terminología y características de los mismos.

En el siguiente Cuadro 10 se presenta el resultado del control de la maleza *Rottboellia cochinchinensis* ejercido por cada herbicida en interacción con cada coadyuvante.

Cuadro 10.

Diferencia porcentual respecto al testigo en el porcentaje de control de *R cochinchinensis* aplicada con los diferentes coadyuvantes en cada herbicida.

#	Coadyuvantes	% control <i>Rottboelia cochinchinensis</i> por cada herbicida			
		diuron 80 WG 1 kg / ha	ametrina 50 SC 3 l/ha	hexazinona 75 WG 0,125 kg/ha	terbutrina 80 WG 1,5 kg/ha
1	TESTIGO	0	0	0	0
2	COSMO IN D 27 SL	60	-36	-33	-4
3	WK 85 % SL	61	16	-33	42
4	AGREX RP 25,7 SL	47	11	24	80
5	SURLAQ 25 %	15	-29	-33	-4
6	KAITAR ACT 26 SL	-18	-27	67	48
7	NP7	75	-41	-33	8
8	INEX 27,65 % L	0	-35	-33	21
9	SUSTAIN 100 L	20	10	35	31
10	COSMO FLUX 411 F	5	42	-28	0
11	AGREX F 32,2 SL	50	-25	-33	24
12	LIMONOIL 15 SL	46	-33	-33	87
13	TRANSPORE 30,4 SL	-21	32	67	18
14	AGREX ABC 50 SL	39	nd	nd	nd
15	SILWET L 77 100 SL	46	-28	-33	96
16	SINER VEGETAL OIL 93 EC	4	47	0	21
17	SURFACID COAD	48	35	41	53
18	PROTEXTIL 50 SL	82	44	71	0
19	AGRIFUL	12	0	0	74
20	EXIT 100 EC	24	71	0	100
21	INDAGRO H	20	26	0	36
22	DAP PLUS 70 SL	24	69	10	70
23	ADHERENTE 810 SL	95	75	10	61
24	SURCO COADYUVANTE CS	24	91	21	23
25	LI 700	15	35	16	32
26	BREAK THRU 100 SL	24	31	0	0
27	INDAGRO ACIDOS HUMICOS 15 % L	96	0	0	100
28	DREXEL PAS 80	92	0	0	74
29	KEMKOL 99 EC	0	100	56	100
30	SAGAFILM	28	56	-28	0
31	BB 5 78 SL	5	33	46	91
32	COUPLEX	0	6	5	0
33	AMINOFEEED UV	0	0	10	18
34	CARRIER EC	11	67	4	6

Dosis coadyuvantes 1 ml/ Litro y de Kenkol 60 ml /ha.

Todos los tratamientos fueron referenciados al tratamiento testigo (herbicida sin coadyuvante), por lo tanto como se observa algunos tratamientos presentaron valores negativos con algunos herbicidas (antagonismo), deduciéndose que estos coadyuvantes anulan el efecto del herbicida, caso contrario otros mejoraron el accionar del herbicida,(sinergismo) a pesar de que algunos de ellos fueron sub dosificados con el objetivo de permitir observar claramente el aporte del coadyuvante. Los valores positivos y más altos sirvieron para seleccionar los coadyuvantes a evaluar con las mezclas de herbicidas más comúnmente utilizadas en el cultivo.

Después de realizar diversas pruebas de campo verificando los resultados con los mejores tratamientos, se presentan en el Cuadro 11, las recomendaciones para las diferentes mezclas de herbicidas con sus respectivos coadyuvantes, cabe aclarar que Indagro ácidos húmicos no es un coadyuvante propiamente sin embargo en las pruebas reportadas en el Cuadro 10, presento con los herbicidas diurón y terbutrina un excelente control de la maleza.

Cuadro 11.
Coadyuvantes recomendados para las principales mezclas de herbicidas.

#	Diuron + Terbutrina	Diuron + Ametrina	Diuron + Hexazinona
1	Indagro Acidos Húmicos	Adherente 810 SL	Protexil 50 SL
2	Drexel Pas 80	Protexil 50 SL	Surfacid Coad
3	Adherente 810	Surco Coadyuvante SC	Agrex RP 25,7 SL
4	Silwett L 77	Cosmo In D 27 SL	Adherente 810 SL
5	Limonoil 15 SL	Inex 27,65 % L	
6	Agrex RP 25,7 SL		
7	Exit 100 EC		
8	WK 85 SL		

4.1. Coadyuvantes en condiciones de estrés hídrico

En las aplicaciones en época seca con el herbicida pre emergente pendimetalina 50 EC en las plantaciones de caña de azúcar posterior a la cosecha, se presentan por lo general nacencia de plántulas de *Rottboellia cochinchinensis* que dicho herbicida no puede controlar, por lo que se debe aplicar algún herbicida post emergente adicional para su control. En estas condiciones las plántulas de la maleza se encuentran por lo general bajo stress hídrico por lo que los herbicidas post emergentes sistémicos no logran controlar eficientemente a las malezas. Entre los herbicidas post emergente y selectivos que podrían combatir esta maleza, se encuentra la terbutrina, la cual acompañado con sus adecuados coadyuvantes puede actuar en forma eficiente bajo estas condiciones especiales en el campo.

Por este motivo se instauró esta investigación, con el objetivo de evaluar e identificar el mejor coadyuvante que con este herbicida, controlen la maleza en esta condición. Como en algunas fincas disponen de riego, las plántulas de la maleza van a estar sujetas a cambios bruscos de humedad y sequía, por lo que se consideró importante incorporar variantes de riego posterior a la aplicación.

El estudio se estableció en condiciones de invernadero donde se sembraron en bandejas de hueco individual un total de 25 pares de semilla de *R. cochinchinensis*. En el Cuadro 12 se presentan los tratamientos y el resultado de la evaluación, las plántulas asperjadas contaban con más de 25 cm de altura en condiciones de estrés hídrico.

Después de la aplicación los diferentes tratamientos fueron agrupados con aplicaciones variadas de riego, todos los tratamientos fueron aplicados en condiciones de marchitez y luego un grupo recibió el riego inmediatamente después de la aplicación, otro un día después y el último dos días después de la aplicación. Como se observa terbutrina controla en forma más eficiente la maleza sobre todo cuando se le adiciona el coadyuvante siliconado Silwet L77 con alta capacidad de penetración. Otro coadyuvante como el Exit 100 también sobresalió con terbutrina en diferentes tratamientos de riego respecto al tratamiento testigo (sin coadyuvante).

Cuadro 12.

Resultado de la evaluación del control de *Rottboellia cochinchinensis* por el herbicida terbutrina con diferentes coadyuvantes en condiciones de estrés hídrico.

Herbicida (dosis / ha)	coadyuvante	% control	momento aplicación
Terbutrina 50 SC 3 L	testigo	75	Seco + Aplicación + 1 día seco + Riego
Terbutrina 50 SC 3 L	Silwet L77 1 ml / L	96	
Terbutrina 50 SC 3 L	Mezcla (DASH EC 34,5) 70 % + (Silwett L77) 30 %	88	
Terbutrina 50 SC 3 L	Exit 100 1 ml /L	100	
Terbutrina 50 SC 3 L	Silwet L77 2 ml / L	96	
Terbutrina 50 SC 3 L	testigo	55	Seco + Aplicación + Riego
Terbutrina 50 SC 3 L	Silwet L77 1 ml / L	96	
Terbutrina 50 SC 3 L	Mezcla (DASH EC 34,5) 70 % + (Silwett L77) 30 %	80	
Terbutrina 50 SC 3 L	Exit 100 1 ml /L	92	
Terbutrina 50 SC 3 L	Silwet L77 2 ml / L	100	
Terbutrina 50 SC 3 L	testigo	46	Seco + Aplicación + 2 día seco + Riego
Terbutrina 50 SC 3 L	Silwet L77 1 ml / L	79	
Terbutrina 50 SC 3 L	Mezcla (DASH EC 34,5) 70 % + (Silwett L77) 30 %	0	
Terbutrina 50 SC 3 L	Exit 100 1 ml /L	88	
Terbutrina 50 SC 3 L	Silwet L77 2 ml / L	100	

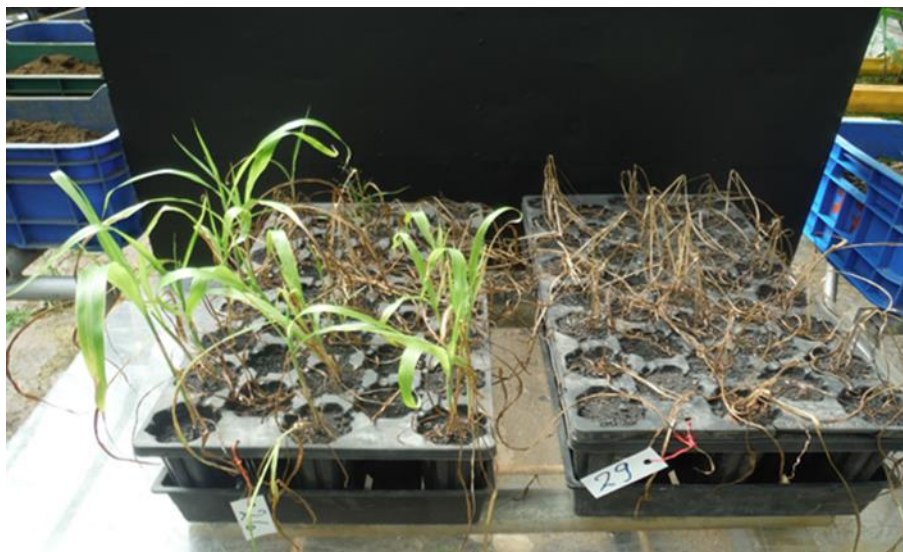


Figura 18. Resultado de la aplicación de terbutrina con el coadyuvante Silwet L77 a la derecha y sin coadyuvante a la izquierda.

Conclusiones

Los tensoactivos son componentes básicos en la formulación de los coadyuvantes y los plaguicidas en general, sin ellos sería utópico el poder aplicarlos en el campo ante la diversa variedad de condiciones ambientales que impiden o limitan su uso y los resultados esperados de ellos. Los tensoactivos por lo tanto son determinantes en la diferenciación y el accionar de los plaguicidas en general catalogándose como herramientas estratégicas en el combate de plagas, malezas y enfermedades en los cultivos.

Para lograr una mayor eficacia de los plaguicidas, es importante profundizar en aspectos bioquímicos que son al final determinantes para lograr una mayor eficiencia en el combate de plagas y enfermedades en los cultivos. La información presentada en este documento, poco se ha tomado en cuenta en el pasado y evidencia el poco conocimiento en aspectos básicos que de aplicarse se lograría un mayor éxito en las aplicaciones aun cuando las mismas sean siempre diferentes. Por lo tanto es de esperar que la información plasmada en este documento ayude a mejorar el conocimiento y con ello el mejor criterio para seleccionar adecuadamente los coadyuvantes más apropiados que garanticen a futuro el éxito en el control de las malezas.

Literatura consultada

- 1) ALFARO, P. R. 2010 El Uso de Adyuvantes en el control Químico de Malezas en la Caña de Azúcar Laica – Dieca San José. Costa Rica. 20 p.
- 2) ALFARO, P. R; VILLALOBOS, M.C; BOLAÑOS P.J. 2002. Evaluación de Diferentes Acidificantes y Coadyuvantes Adicionados a una Mezcla de Herbicidas Utilizada para el Control de Malezas en la Caña de Azúcar en Esparza, Puntarenas. Grecia, Costa Rica, LAICA- DIECA, mayo. 11 p.
- 3) ARROSPIDE, G.2004. Criterio para el uso de aditivos y coadyuvantes Uruguay. Consultado 10 diciembre 2018.Disponible en <https://http://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/1311182916>.
- 4) BROWN, T. *et al.*2004 Química La Ciencia Central. Pearson Educación de México. Novena edición Juárez Edo de México.1046 pg.
- 5) FERNANDEZ, A. 2004 Surfactantes no iónicos Cuaderno Firp s 303 – PP Modulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales .Universidad de Los Andes Escuela de Ingeniería Química Mérida Venezuela Pag 26. Consultado 12 enero 2019. Disponible en www.firp.ula.ve/archivos/cuaderno/s303.
- 6) FERNANDEZ, H. *et al.* sf. Emulsificantes. Curso de Química UNESP. Consultado 2 Marzo 2019.Disponible en: [https:// www.ebah.com.br/content/](https://www.ebah.com.br/content/)
- 7) GARCIA, E; BORTOLUSI, O; BLATNER, L. 2003. Formulaciones y Adyuvantes. El Sitio de la Producción Animal, Instituto Nacional Tecnología Argentina INTA. Boletín de Divulgación Técnica Mayo 2003. 28 Pag. Consultado 6 Enero 2019. Disponible en: [http://www.argenpapa.com.ar/img/FORMULACIONES % 20Y % 20COADYUVANTES.pdf](http://www.argenpapa.com.ar/img/FORMULACIONES%20Y%20COADYUVANTES.pdf).
- 8) GRACIA, F. 2017. Que es la espuma. Artículo publicado por la revista digital universitaria vol. 15.Universidad Autónoma de México. Consultado 3 marzo 2019.Disponible en: [https:// www revista unam.mx/vol.15](https://www.revista.unam.mx/vol.15).
- 9) GRIFFIN, W.C.1954.Calculations of HLB valúe of Non Ionic Surfactants.Journal of the Society of Cosmetic Chemistry 5 (4) 249756. Consultado 3 Enero 2019. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Equilibrio_hidrofílico-lipofílico
- 10) GUTIERREZ, H; ARREGUI. MC. 2000. Comportamiento de los Herbicidas en Suelos, Agua y Plantas Revista FAVE 14 (1) pag 73 – 89 Santa Fe Argentina. Consultado 18 enero 2019.Disponible en [https:// www.unl.edu.ar/iberoextensión](https://www.unl.edu.ar/iberoextensión).

- 11) JALIL, L.E. 2015. Aplicaciones agrícolas de calidad y uso de coadyuvantes e última generación. Rizobacter Pergamino Buenos Aires, Argentina. Consultado 6 marzo 2019. Disponible en <http://www.gotaprotegida.com.ar/wp-content/uploads/2015/04/gotaprotegida.pdf>
- 12) KOGAN, M; PEREZ, A 2001. Herbicidas: Fundamentos Fisiológicos y Bioquímicos del Modo de Acción Colección en Agricultura Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile. 333 p.
- 13) LEIVA, D. 2013. Ámbito de recomendación de aditivos o coadyuvantes en las pulverizaciones agrícolas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria consultado 5 diciembre 2019. Disponible en <https://www.inta.gob.ar/Ambito>.
- 14) MADOLET, P. *et al* 2016. Bacterias productoras de biotensoactivos para biorremediación. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Consultado 23 marzo 2019. Disponible en <http://biotensoactivos.blogspot.com/2016/>.
- 15) MAK S.Y.; WONG K. Y. 1990 *The measurement of the surface tension by the method of direct pull*. Am. J. Phys. 58 (8) August 1990, p: 791-792. Consultado 7 febrero 2019. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/ten>.
- 16) MOORE, *et al*. 1956. El Sistema del balance hidrofílico. Historia y aplicaciones. Consultado 13 diciembre 2018 en <https://es.scribd.com/doc/14073925/>.
- 17) PEREZ, L. V.M. 1989. Consideraciones sobre surfactantes. Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México, 1989, p. 16. Consultado 21 febrero 2019. Disponible en <https://studylib.es/doc/1036811/1>.
- 18) PRADO, B. A. 2001. Adyuvantes, sus Propiedades y Efectos en las Aplicaciones de Agroquímicos SIDALC. Sistemas de Información y Documentación Agropecuaria de las Américas. Consultado 17 enero 2019. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/orton.htm>
- 19) RAMIREZ, D.W; *et al*. 2005 Surfactantes asociados a Herbicidas. Efectos sobre organismos acuáticos. Revista Orinoquia vol. 9 #2 Consultado 4 febrero 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/242666712_Surfactantes_asociados_a_herbicidas_Efectos_sobre_organismos_acuaticos.

- 20) RIOS, R.F. 2010. Comportamiento Ambiental de Tensoactivos Comerciales Aniónicos y no Iónicos. Tesis Facultad de Ciencias, Departamento De Ingeniería Química. Universidad Granada, España. 242 p. Consultado 24 enero 2019. Disponible en <https://www.ugr.es/bitstream/10481/14978/1/TFMFinal.pdf>
- 21) RODRIGUEZ, S, J. 2014. Evaluación Físico Química de Surfactantes No Iónicos y su aplicación en el destintado de papel reciclado. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. Consultado 17 Febrero 2019. Disponible en <https://repository.upb.edu.co/bitstream/har>
- 22) SALAGER, J.L. 1993. Surfactantes En Solución Acuosa. Cuaderno FIRP S 201-A. Modulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales. Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Química, Mérida, Venezuela. 25 p. Consultado 11 febrero 2019. Disponible en [https:// www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos 201](https://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos 201).
- 23) SALAGER, J.L; FERNANDEZ, A. 2004. Surfactantes I Generalidades II Materias Primas. Cuaderno Firp s 301 p Modulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales .Universidad de Los Andes Escuela de Ingeniería Química Mérida Venezuela 23 p. Consultado 13 febrero 2019. Disponible en [https:// www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos 301](https://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos 301).
- 24) SCHEUER, S. 2010. La permisividad de la unión europea ante la contaminación química .El caso del nonil fenol, síntomas del fracaso en la aplicación de las leyes mayo 2010. Greenpeace España. Consultado febrero 2019. Disponible en [https:// www.archivo-es/Greenpeace.org/España](https://www.archivo-es/Greenpeace.org/España).
- 25) SALAGER, J.L. 2002. Surfactantes Tipos y Usos .Cuaderno Firp s 300 - A Modulo de enseñanza en Fenómenos Interfaciales, Laboratorio de formulación, Interfaces, Reología y Procesos. Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Química, Mérida, Venezuela. 53 p. Consultado 27 enero 2019. Disponible en [https:// www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos 300](https://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos 300).
- 26) SANZ, T.A 2019. La industria de los agentes tensoactivos. Química orgánica consultado 12 febrero 2019. Disponible en [https:// de: www.eii.uva.es/organica/qoi/tema](https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema).
- 27) WSSA. 2007. Herbicide Hanbook novena edición Lawrence, KS USA. 458 p.