



**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA
RESPUESTA GERMINATIVA
DE 7 ESPECIES VEGETALES
FRENTA A DISTINTAS
CONCENTRACIONES
SALINAS.**

AUTORES: Nicolás Bayá-Casal Sansolini
Carlota Chen Gamarra Zambrano.
Davinia García Vicente
Laura Salamanca Valenzuela

CURSO: 2º bachillerato

PROFESORA: Lidia Díaz Puga

CENTRO: IES MARIANA PINEDA (GRANADA)

XII CERTAMEN DEL SUR 2023. INCUBADORA DE SONDEOS Y EXPERIMENTOS

ÍNDICE

1. Introducción
2. Objetivos
3. Metodología
4. Resultados
5. Conclusiones
6. Fuentes consultadas

1. INTRODUCCIÓN

En Almuñécar, la situación agraria es cada día más preocupante, pues progresivamente se está dejando al borde de la subsistencia a una alta cantidad de familias de dicho sector. Todo ello se debe a la escasez de agua de lluvia que está provocando consecuencias tan graves como la salinización de los acuíferos, un suceso que se venía anunciando desde hace tiempo, la ausencia de lluvias angustiaba a los agricultores que veían sus plantaciones agonizar.



Imagen 1: Concentración de la Asociación Agua para el Campo en la presa de Rules en 2019. Fuente: Europa Press. Martes, 27 de agosto de 2019

Estos acontecimientos han llevado a más de 200 personas a denunciar sus preocupaciones mediante numerosas huelgas y manifestaciones convocadas por asociaciones como “Agua para el Campo y Verde” o “Seco y Jate” que reclaman la construcción de canalizaciones procedentes del embalse de Rules¹, que permitan la llegada de agua dulce y de provecho para sus cultivos.



Imagen 2: Vecinos de la Costa en una manifestación convocada en diciembre de 2022, Granada. Fuente: periódico Ideal, artículo elaborado por Aguilar, Alfredo.

Todo ello nos lleva a pensar que la situación climática es cada día más preocupante y que hemos de tomar medidas de cara a un futuro próximo.

¹ Embalse de Rules situado en el cauce del Río Guadalfeo, recoge las aguas de la vertiente sur de Sierra Nevada, del macizo septentrional de la Sierra de Lújar y de las barranqueras profundas de la Sierra de la Contraviesa. Fue inaugurado en el año 2004.

Los agricultores de Almuñécar afirman que la calidad de las cosechas está empeorando drásticamente porque sin agua, el sustento de la vida; no es posible producir alimento para la población. Esto supone además la pérdida de ingresos de miles de trabajadores de este sector y tiene un impacto importante en la economía no solo local si no provincial, e incluso regional y nacional.

Por este motivo, hemos emprendido una iniciativa en colaboración con el CSIC (Centro Superior de Investigaciones científicas), que consiste en testar la adaptación de ciertas especies de plantas a distintos niveles de salinidad, con la intención de que llegado el momento podamos utilizar agua con altos niveles de salinidad, ya sea procedente de los acuíferos contaminados o incluso del mar.

2. OBJETIVOS

- Tomar conciencia de uno de los mayores problemas futuros del planeta: la escasez de agua dulce.
- Promover una alternativa para formas de riego futuras: agua procedente de los acuíferos contaminados o incluso del mar.
- Conocer las concentraciones salinas más favorables para la germinación de las semillas de alimentos de consumo diario y ciertas semillas que tienen como utilidad la investigación en ambientes salinos.
- Conocer cuáles son las plantas más idóneas para el consumo en una situación de escasez de agua dulce.

El objetivo principal de este proyecto es buscar una solución para el riego, ante la escasez de agua dulce, ya que como se ha mostrado en las noticias y múltiples estadísticas, los embalses y almacenes de agua dulce se han ido reduciendo a lo largo de los años. Esto se debe al aumento de la población mundial y al consumo de muchos productos que necesitan este elemento para su fabricación, además de a la escasez de lluvias.

Nuestro estudio se ha realizado en la asignatura de Estadística en colaboración con la de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, ambas optativas de 2º de Bachillerato.

Para alcanzar los objetivos hemos trabajado con disoluciones de agua de mar a distintas concentraciones. Las semillas sometidas a estudio corresponden a diversos vegetales, legumbres, frutas de uso común.

La finalidad de nuestro análisis es determinar las condiciones salinas límite para la germinación y crecimiento de algunas especies vegetales y de legumbres.

3. METODOLOGÍA

Para esta investigación, se llevó a cabo un protocolo que partía de las bases del método científico. Hipótesis de partida: "Las semillas no germinan en medios con altas concentraciones salinas". El experimento que pondría a prueba esta hipótesis consistiría en comprobar la respuesta germinativa de varias semillas frente a distintas concentraciones salinas.

El instituto I.E.S. Mariana Pineda se puso en contacto con la Estación Experimental del Zaidín, centro de investigación agrícola y ganadera, que colabora con los centros educativos de secundaria, bachillerato y ciclos formativos, para fomentar el espíritu investigador entre los estudiantes.

La investigadora María Eugenia Ramos nos ayudó a elaborar el protocolo de nuestro experimento.

En primer lugar decidimos las especies vegetales a utilizar:

1. *Daucus carota* (zanahoria)
2. *Spinacia oleracea* (espinaca)
3. *Arabidopsis thaliana* (berro de oreja de ratón)
4. *Solanum subsect. Lycopersicon* (tomate)
5. *Cicer arietinum* (garbanzo)
6. *Lens culinaris* (lenteja)
7. *Cakile* (marítima)

Sometimos el agua del mar a un proceso de autoclavado para eliminar los microorganismos que pudiesen impedir la germinación de las semillas. Se prepararon tres disoluciones mezclando agua del mar con agua destilada hasta alcanzar las concentraciones salinas de 25 mmol/l, 75 mmol/l y 150 mmol/l. Como valor de referencia tomamos una solución de agua destilada 0 mmol/l.

Soluciones:

1. 0 mmol/l
2. 25 mmol/l
3. 75 mmol/l
4. 150 mmol/l

En el laboratorio, se extremaron las condiciones de higiene, para evitar contaminar los materiales y utensilios.

Utensilios de laboratorio:

- Placas de Petri
- Papel de filtro
- Vaso de precipitados
- Pipeta
- Succionador
- Pinzas de laboratorio
- Parafilm
- Rotulador

Procedimiento:

Paso 1: Distribución del alumnado en 7 grupos de 3 ó 4 personas. A cada grupo se le asignó una especie concreta.

Paso 2: El alumno 1 rotula las placas Petri (ambas caras) con los códigos que aparecen en los estadillos, que consisten en: *las dos primeras letras del nombre – concentración de la solución - número de placa* (1 al 4). Ejemplo: To-75-1 (semillas de tomate depositadas en la solución de concentración de 75 mmol/l en la placa 1). Además, era importante rotular en los bordes con el fin de no obstaculizar la visualización de las semillas germinadas.

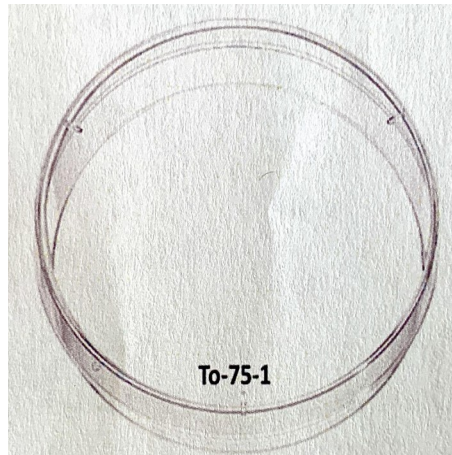


Imagen 3: indicación de rotulación. Fuente propia

Paso 3: El alumno 2 coloca 2 papeles de filtro en cada una de las placas, previamente recortados al tamaño adecuado.

Paso 4: El alumno 3 aplica 10 ml de disolución de las distintas concentraciones a un total de cuatro placas. El número de placas analizadas por especie y por disolución suponen un total de 16 placas.

Paso 5: El alumno 1 siembra en el medio acuoso preparado 25 semillas por placa con ayuda de pinzas de laboratorio. Por tanto, exceptuando el cakile por razones que veremos en la página siguiente, las muestras tienen un tamaño de 400 semillas por especie vegetal.

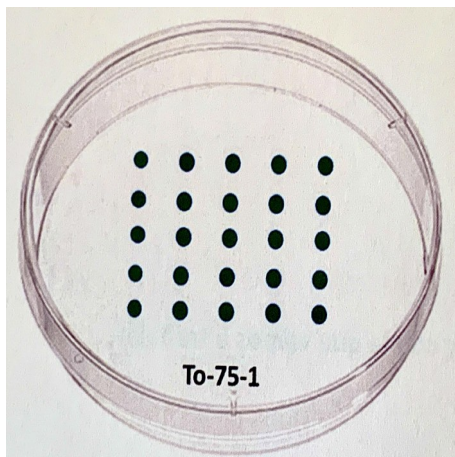


Imagen 4: Siembra de semillas. Fuente propia.

Paso 6: El alumno 2 corta 20 tiras de parafilm de 2 centímetros de ancho para sellar herméticamente las placas.

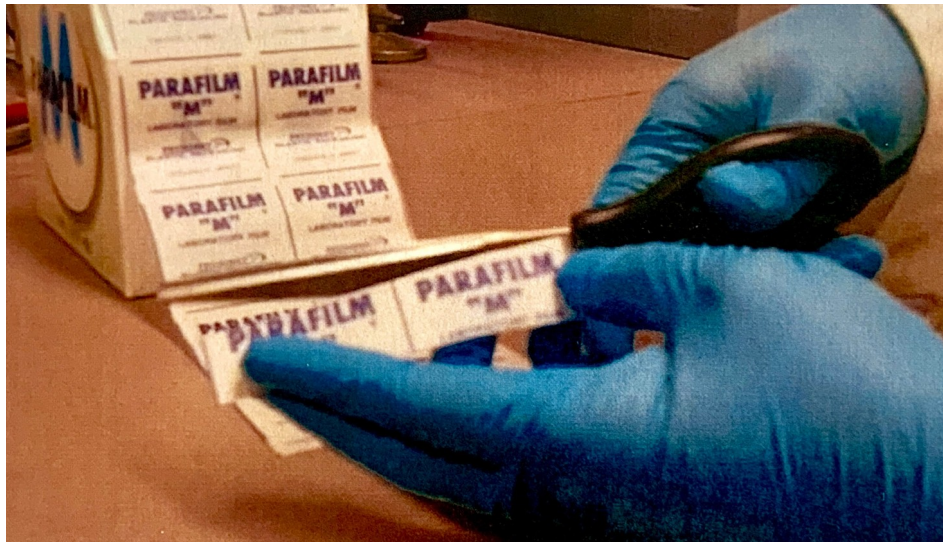


Imagen 5: Corte de parafilm. Fuente propia.

Paso 7: El alumno 3 corta cuatro cuadrados de papel de aluminio para mantener juntas y protegidas de la luz las cuatro placas correspondientes al mismo tipo de semilla y a la misma concentración salina.

Paso 8: Los alumnos 1, 2, 3 sellan las placas con parafilm y las envuelven en grupos de cuatro con el papel de aluminio recortado en el paso 7.

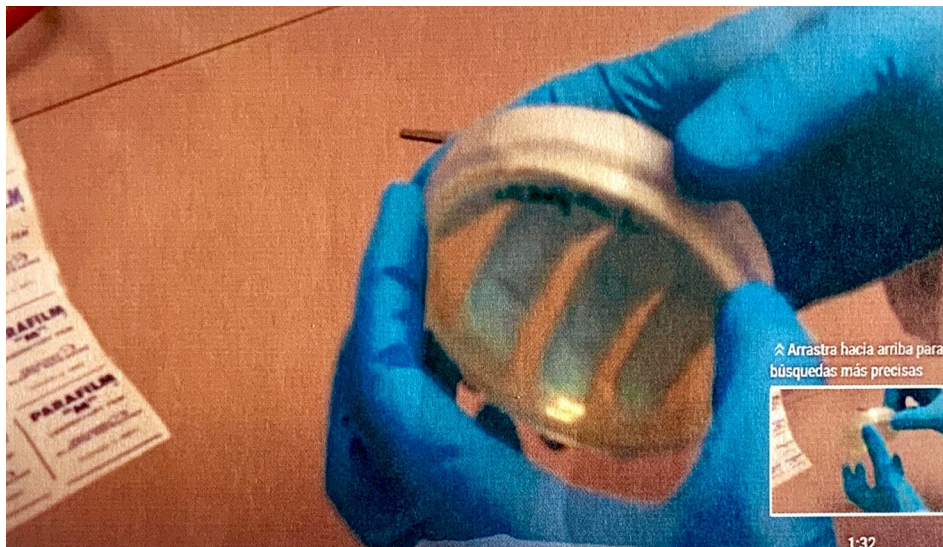


Imagen 5: Sellado de una placa de Petri. Fuente propia.

Alteraciones en el tamaño de la muestra

En el caso del Cakile, la preparación de la semilla requería romper la cáscara dura que la envuelve; éste es un proceso laborioso y delicado, ya que a menudo la rotura de la cáscara también suponía la rotura de la semilla, quedando ésta inservible. El número de semillas sometidas a estudio en este caso se redujo a 160, es decir 10 por placa.



Imagen 6: Semillas de Cakile. Foto de stock - Sea Rocket Cakile marítima seeds, on beach strandline, Braunton Burrows, Devon, England, october



Imagen 7: Obtención semillas de Cakile. Fuente propia.

En el caso de la Arabidopsis, las semillas son de tamaño difícil de observar a simple vista, lo que llevó a un error en el tamaño de la muestra, ya que en una de las placas de la disolución 150 mmol/l no se colocaron semillas. De este modo, sólo fue posible estudiar un total de 375 semillas de esta especie. También tuvimos que disminuir la cantidad de solución añadida por debajo de los 10 ml para evitar la inundación y flotación de las semillas. Perdimos el control sobre la cantidad de solución utilizada, ya que simplemente retiramos el exceso.

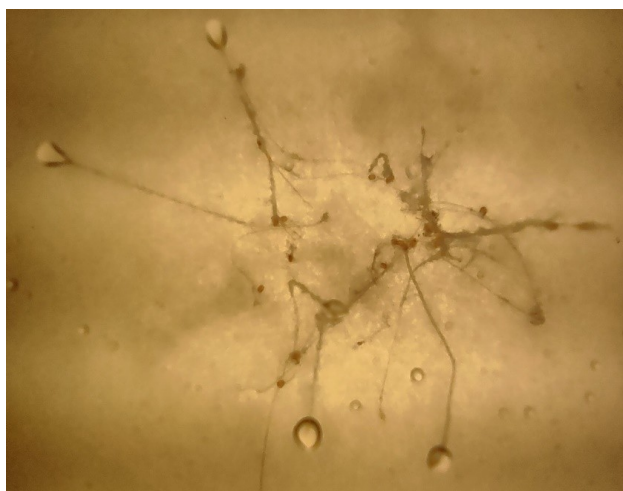
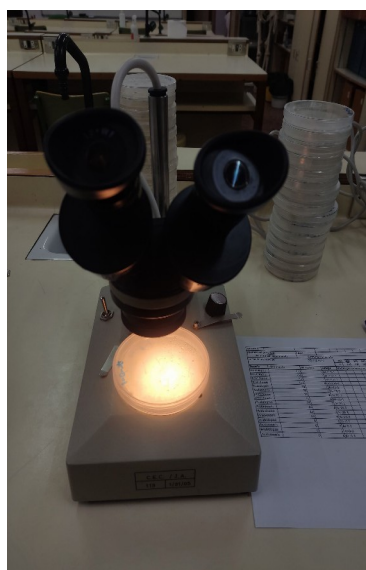


Imagen 8: Arabidopsis observada al microscopio. Fuente propia.

[illegible]

A partir de estos datos iniciamos nuestro análisis estadístico.

4. RESULTADOS

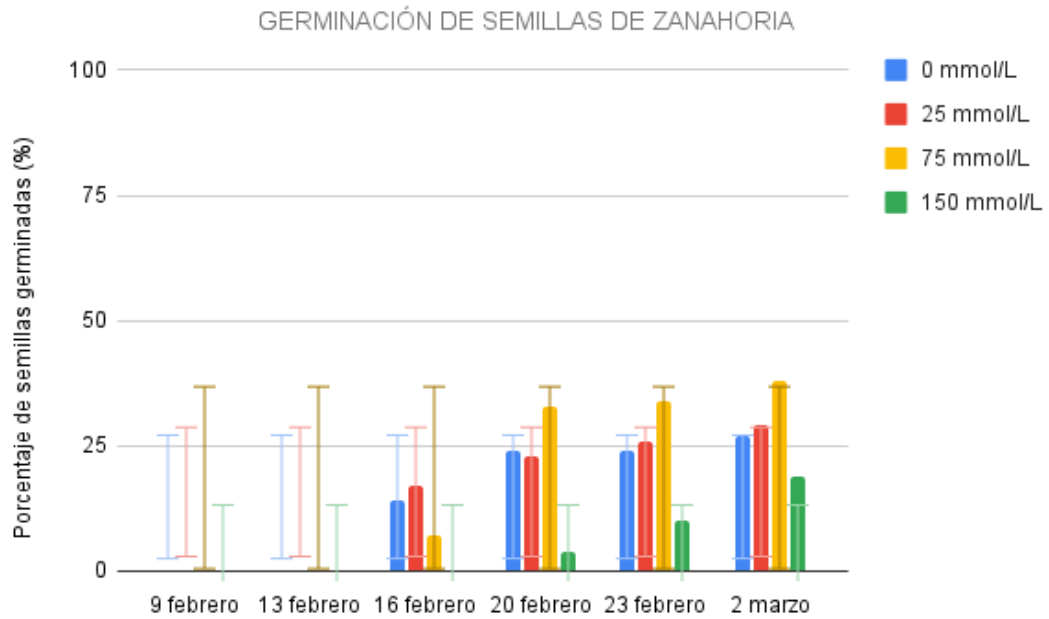
Para la obtención de resultados y conclusiones hemos analizado los datos utilizando la hoja de cálculo de *Libre Office* y el programa *Geogebra*.

En primer lugar, hemos representado los datos en gráficos de barras, que permiten comparar el tanto por ciento de semillas germinadas para las distintas concentraciones y tipo de semilla, en función del tiempo.

ZANAHORIA

Esta especie es moderadamente tolerante a la salinidad. Contenidos de sales relativamente altos inhiben la germinación de las semillas y, durante el ciclo de cultivo interfieren el crecimiento normal de las raíces, restringiendo la disponibilidad de humedad y la asimilación de nutrientes.

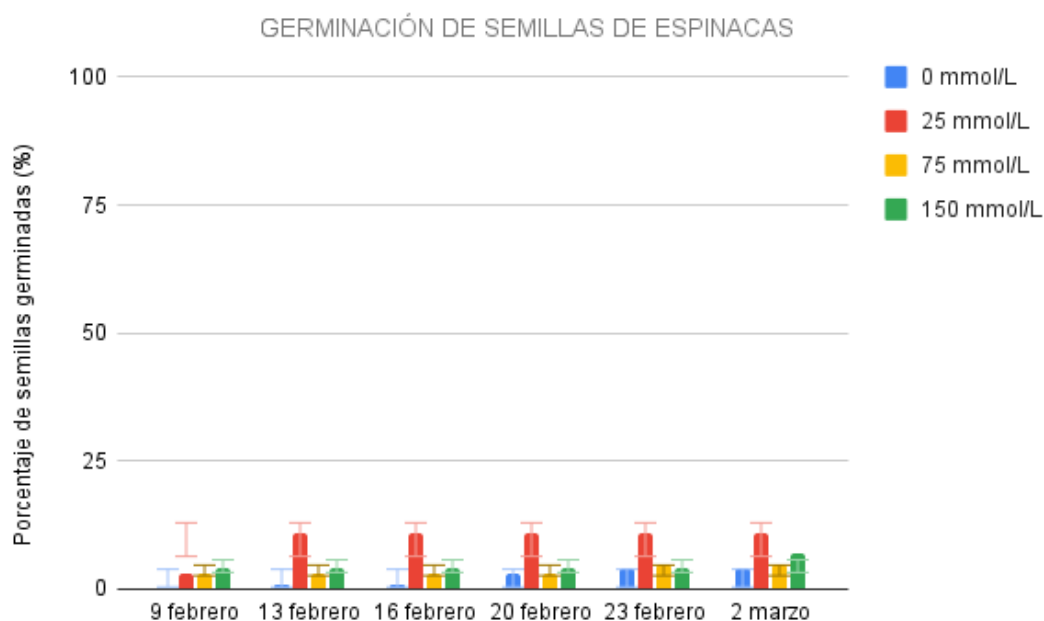
En lo referido a nuestro estudio llegamos a las siguientes conclusiones:



- La concentración para la que se obtienen mayores niveles de germinación es 75 mmol/l.
- La concentración para la que se obtienen los niveles más bajos de germinación es 150 mmol/l.
- Entre las concentraciones de 0 mmol/l y 25 mmol/l de salinidad, la germinación es similar: 27-29 %.
- El total de semillas germinadas el 2 de marzo es de 113 de un total de 400, siendo un porcentaje del 28,25%.

ESPINACA

La espinaca es una hortaliza de consumo diario que es posible cultivar en todas las estaciones del año, y destaca por ser rica en diversos nutrientes y por su capacidad antioxidante. Al estudiar las muestras obtenemos las siguientes conclusiones:

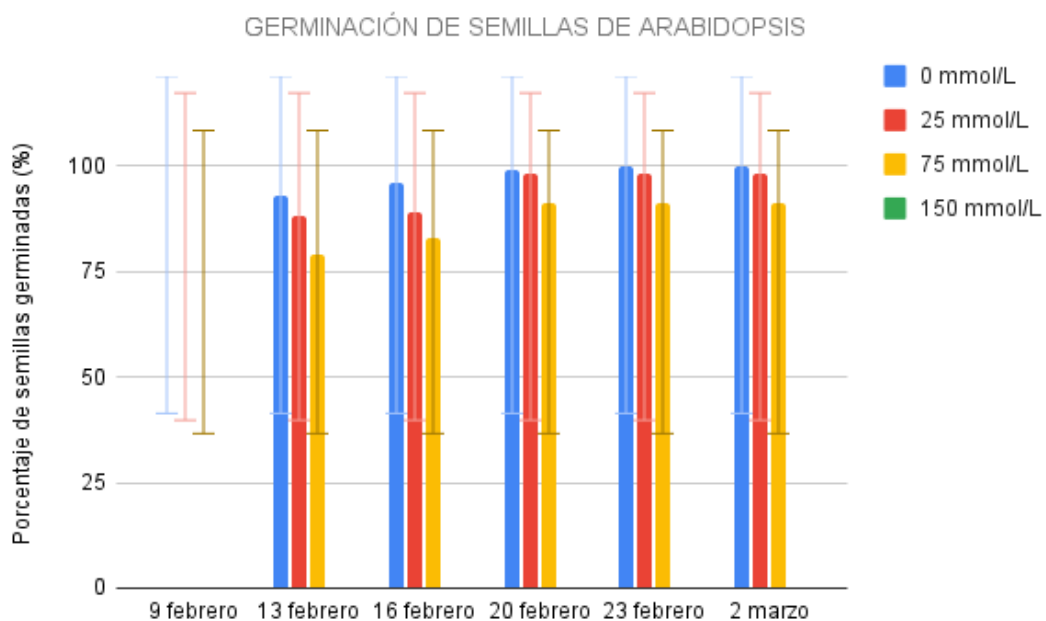


- La germinación de esta hortaliza ha sido muy baja en todas las concentraciones salinas.
- La concentración con unos resultados levemente por encima del resto es 25 mmol/l.

ARABIDOPSIS

La arabidopsis es una hierba nativa de Europa que se caracteriza por estar presente en distintas investigaciones científicas como, por ejemplo, en modelos para la investigación fitobiológica.

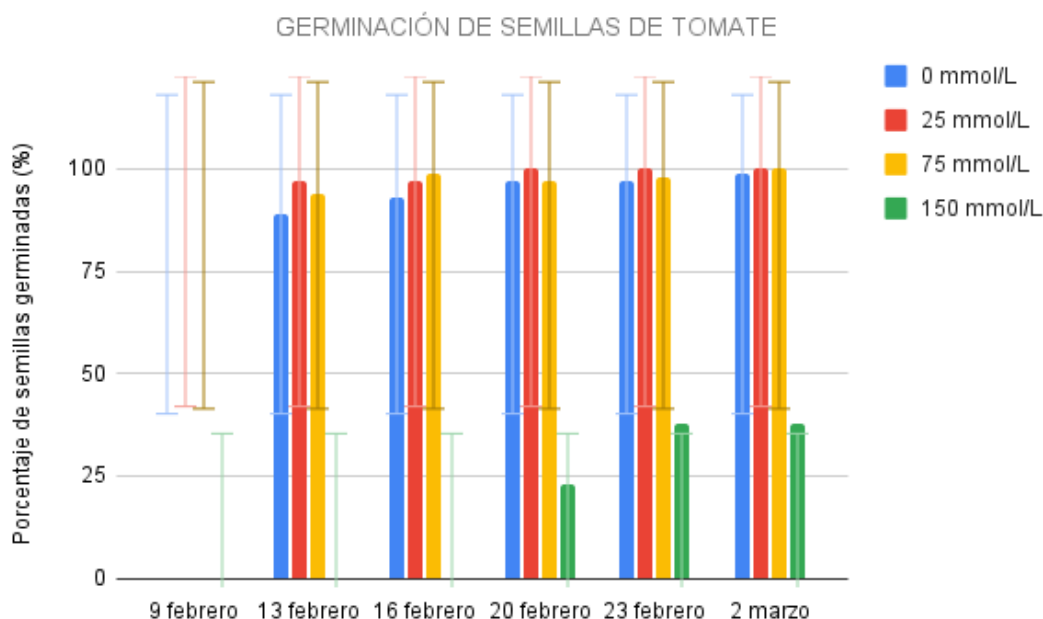
A continuación se muestran los resultados de nuestro estudio:



- Para la concentración 150 mmol/l la germinación es nula.
- La concentración en la que se ha producido una germinación del 100%, es decir, han germinado las 25 semillas, es 0 mmol/l.
- A 25 mmol/l, la germinación ha sido bastante alta casi igual que la de 0 mmol/l.
- La concentración en la que la germinación ha sido menor es la de 75 mmol/l.
- El última día de revisión de la germinación, el 2 de marzo, había un total de 289 semillas germinadas, es decir, un 72,25 %.

TOMATE

Según las fuentes consultadas, la salinidad afecta negativamente a la plantación del tomate. Normalmente, al aumentar la salinidad el porcentaje de germinación disminuye y la germinación se retrasa, necesitando más tiempo para la obtención de resultados. Los resultados obtenidos en nuestra investigación son acordes con las hipótesis de partida, lo cual se observa en el gráfico a partir de la concentración de 150 mmol/l.



Hemos observado las siguientes circunstancias:

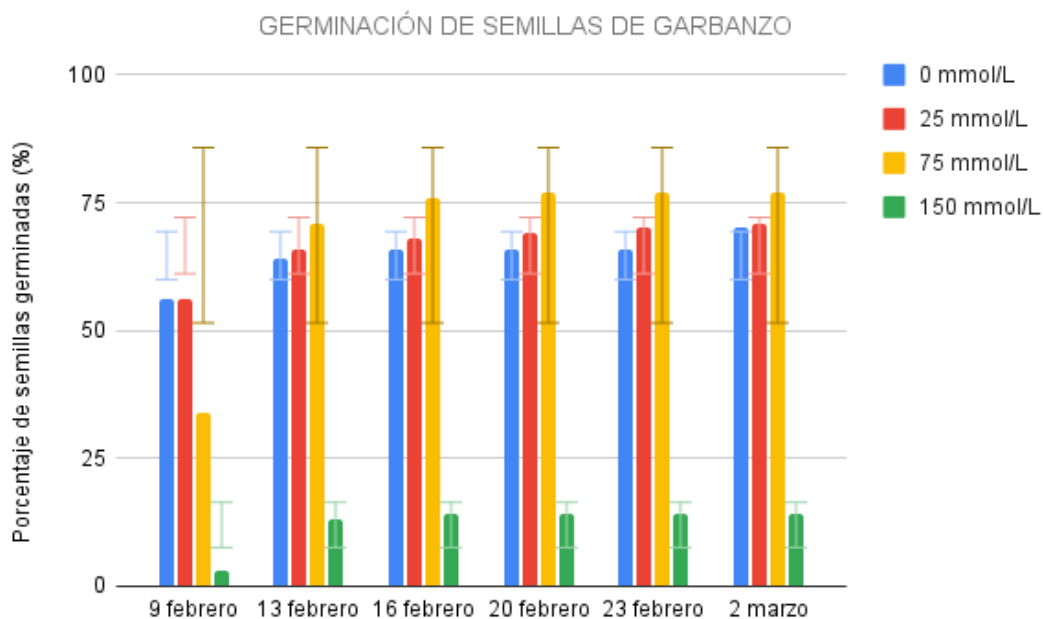
- El tomate por lo general tiene valores de germinación alta hasta la concentración 75 mmol/l.
- La solución con menor porcentaje de germinación (38 %) es 150 mmol/l, no apareciendo resultados positivos hasta el 20 de febrero.
- Los resultados en las concentraciones de 0 mmol/l, 25 mmol/l y 75 mmol/l son muy similares, rondando el 100% de semillas germinadas.

- El total de semillas germinadas es de 337 de 400, es decir han germinado un 84,25% del total estudiado.

GARBANZO

El garbanzo es una especie leguminosa, adaptada a todos los continentes. Decidimos incluir esta especie en nuestro estudio debido a que está muy presente en nuestra dieta y es rica en propiedades nutritivas.

El garbanzo es muy resistente a periodos de sequía, y a continuación veremos su desenvolvura con diferentes concentraciones de sal.

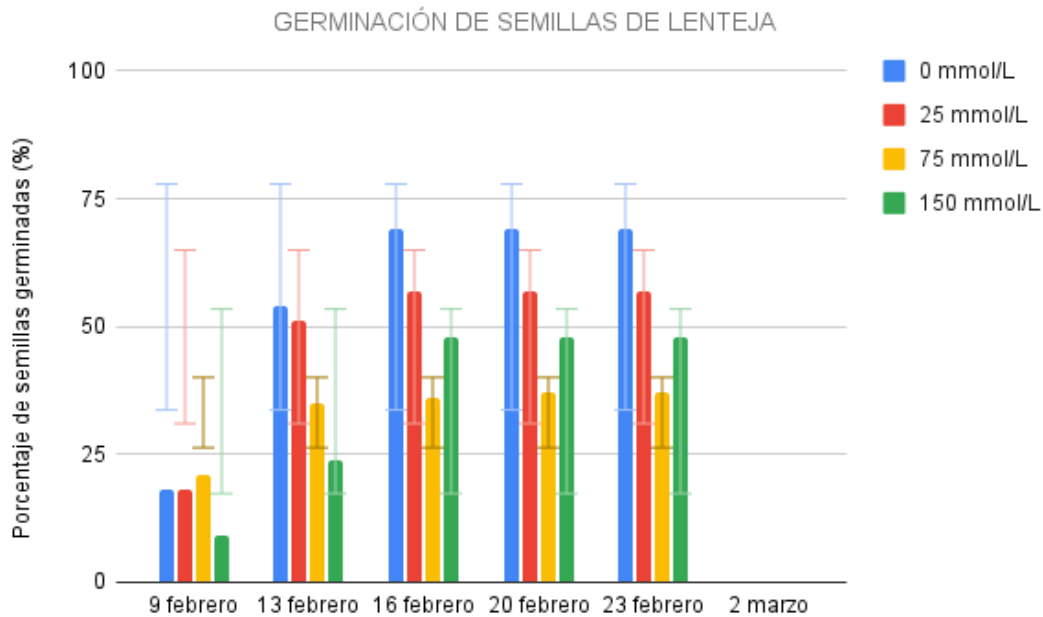


- La germinación ha sido bastante baja en las semillas correspondientes a la solución de 150 mmol/l, lo que nos lleva a que la salinidad a partir de estos niveles afecta negativamente a su germinación.
- La germinación más alta se ha producido a 75 mmol/l.
- Entre 0 mmol/l y 25 mmol/l la germinación ha sido muy similar, rondando el 70% el porcentaje de semillas germinadas.
- Cabe destacar que el día 23 de febrero se tuvieron que retirar varias semillas infectadas por hongos de todas las concentraciones.
- El 2 de marzo había un total de 232 semillas germinadas, es decir, un 58% del total.

LENTEJA

Las lentejas son un tipo de legumbre formada por hidratos de carbono y proteínas, y también contiene una gran variedad de vitaminas y minerales. Por este motivo son consideradas como un alimento de alto valor nutritivo.

Es un grano relativamente tolerante a la sequía, y prospera en muchos ambientes.

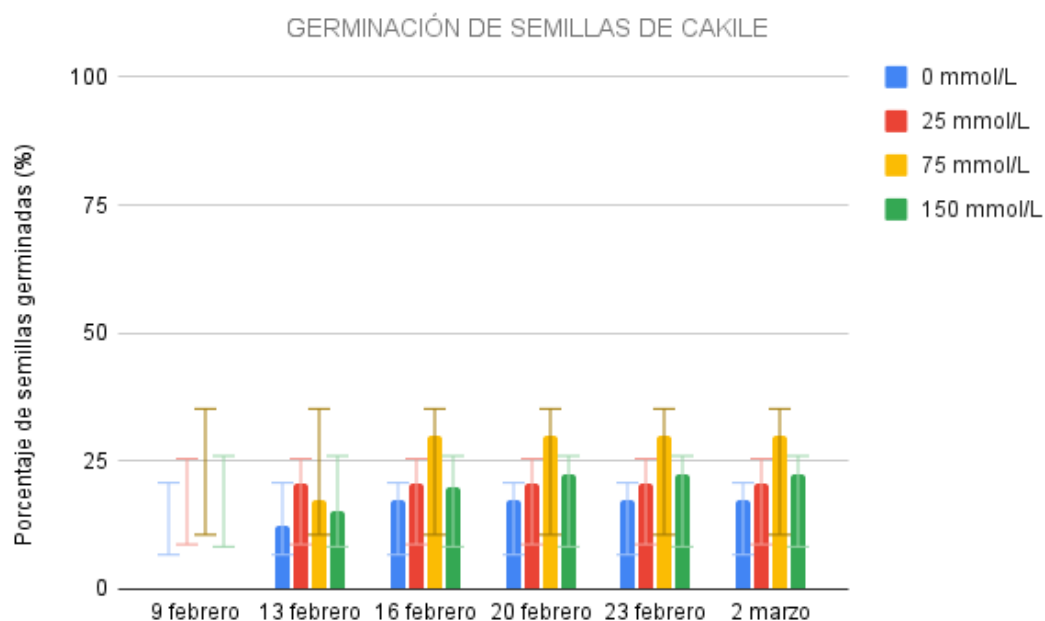


- Se observa que en general cuanto mayor es la salinidad menor es el número de germinaciones, excepto para las muestras de 75 mmol/l.
- El porcentaje de semillas germinadas aumenta conforme pasa el tiempo, alcanzándose un máximo a partir del 16 de febrero y a partir de ahí manteniéndose constante. Esto ocurre para todas las concentraciones excepto para 75 mmol/l, para la que se alcanza el máximo antes, el 13 de febrero.
- Se concluye que la anomalía que presentan las muestras de 75 mmol/l deben deberse a errores de observación y/o anotación.

CAKILE

El Cakile es una planta marítima con usos farmacéuticos y medicinales, y se puede utilizar también con fines alimentarios. Es rico en vitamina C, hierro y yodo, y tiene propiedades antioxidantes y antiescorbúticas. También tiene usos en la cocina, aunque su particular sabor no es apto para todos los paladares. Dadas las condiciones, a veces extremas, en las que vive esta planta, está muy adaptada a soportar largos periodos de sequía, fuertes vientos y altos niveles de sal. El hecho de que sus hojas sean algo engrosadas hace que pueda mantener agua de reserva en su interior para sobrevivir a esos periodos de verano.

Nuestro estudio es el siguiente:



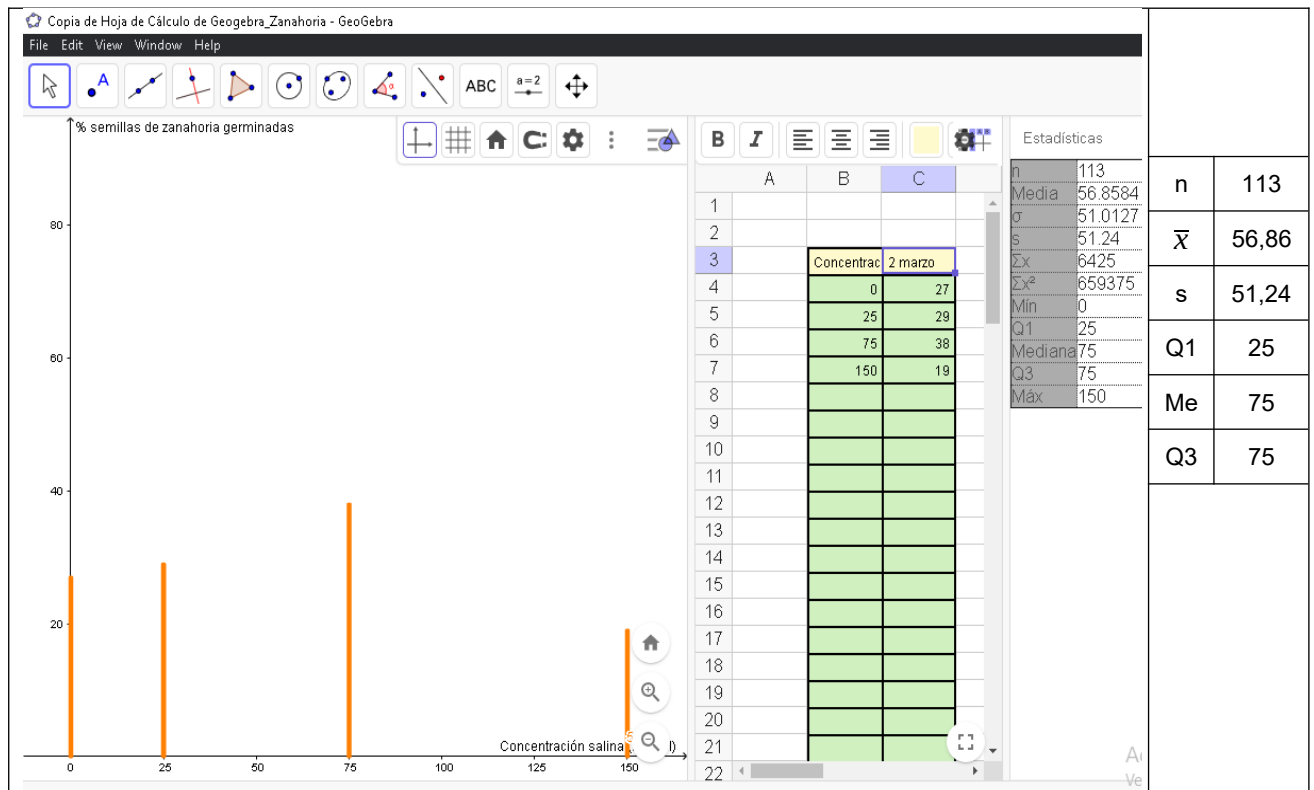
- En las semillas de Cakile, la concentración óptima es la de 75 mmol/l, ya que en ésta se ha superado el 25% de germinación, estando por debajo del 25 % en el resto de las concentraciones.
- Los peores resultados corresponden a la concentración 0 mmol/l, algo lógico teniendo en cuenta las características de la planta.

ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LA VARIABLE SALINIDAD PARA LAS DISTINTAS ESPECIES VEGETALES.

Las medidas estadísticas características de cada una de las siete distribuciones tomando el tamaño de las muestras correspondientes a las distintas especies como el número de semillas germinadas en cada caso, y los datos de germinación los correspondientes al 02 de marzo de 2023, son:

ZANAHORIA

- Cálculo de las medidas estadísticas:

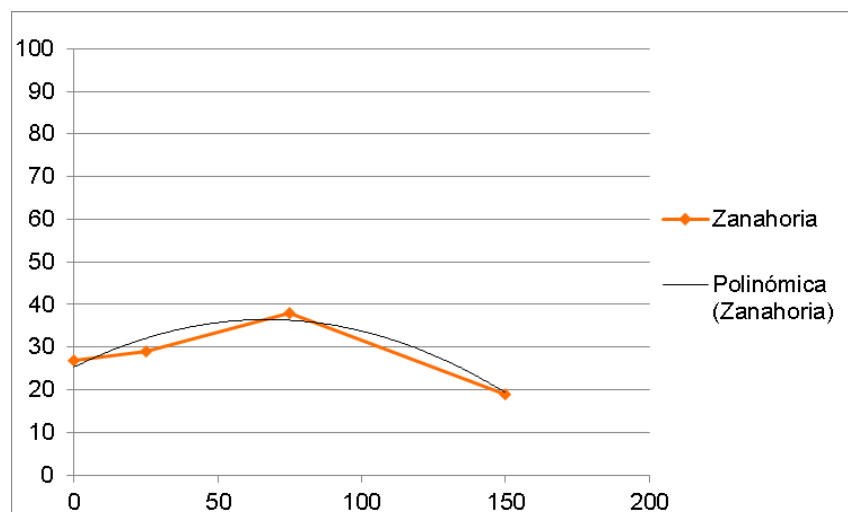


Podemos ver que para la zanahoria la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 56,86$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 51,24$ mmol/l.

El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

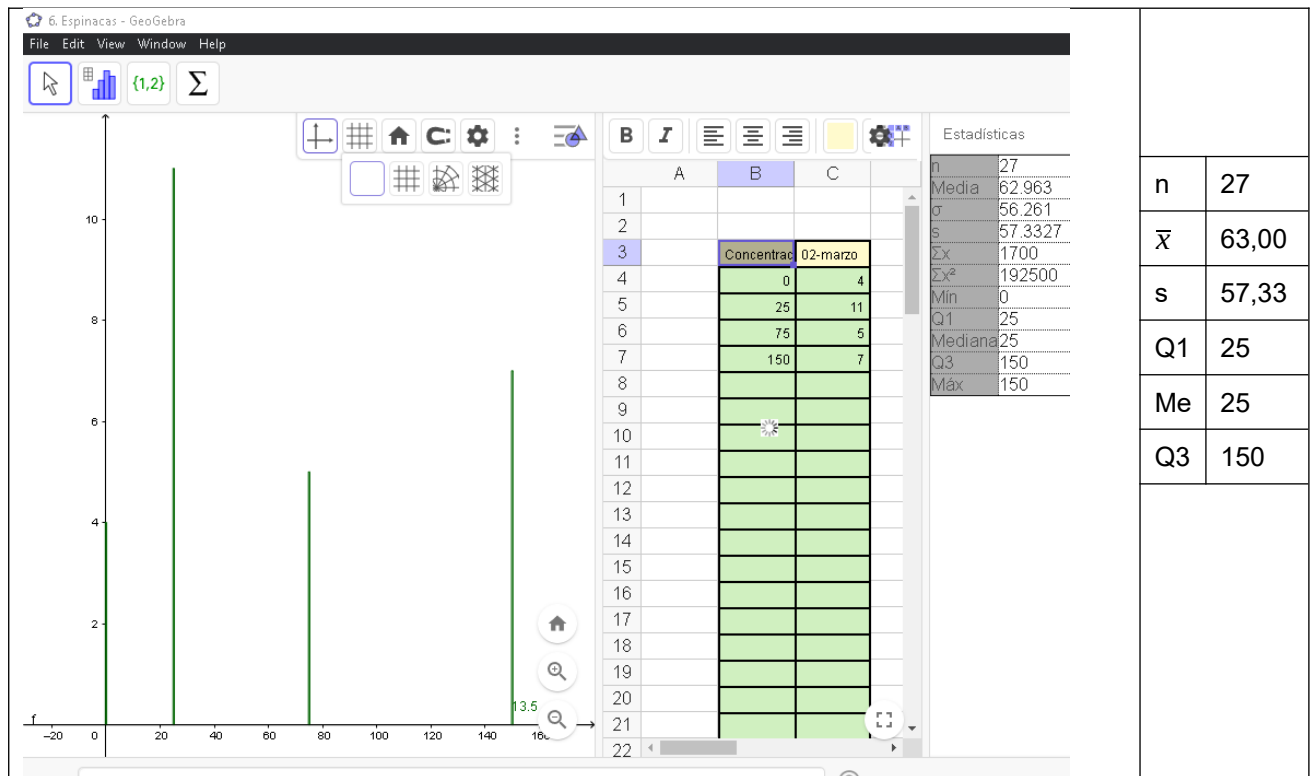
- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función polinómica de grado 2. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de zanahoria germinadas para cada nivel de salinidad.



ESPINACA

- Cálculo de las medidas estadísticas:

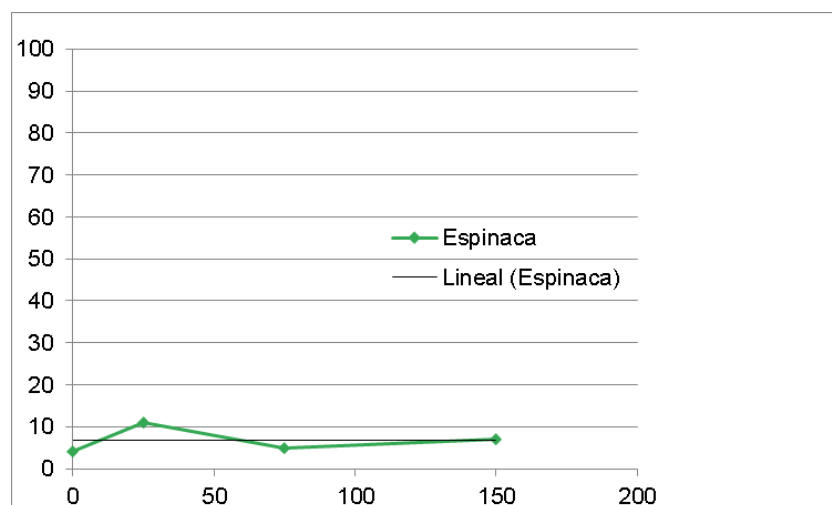


Podemos ver que para la espinaca la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 63$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 57,33$ mmol/l.

El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

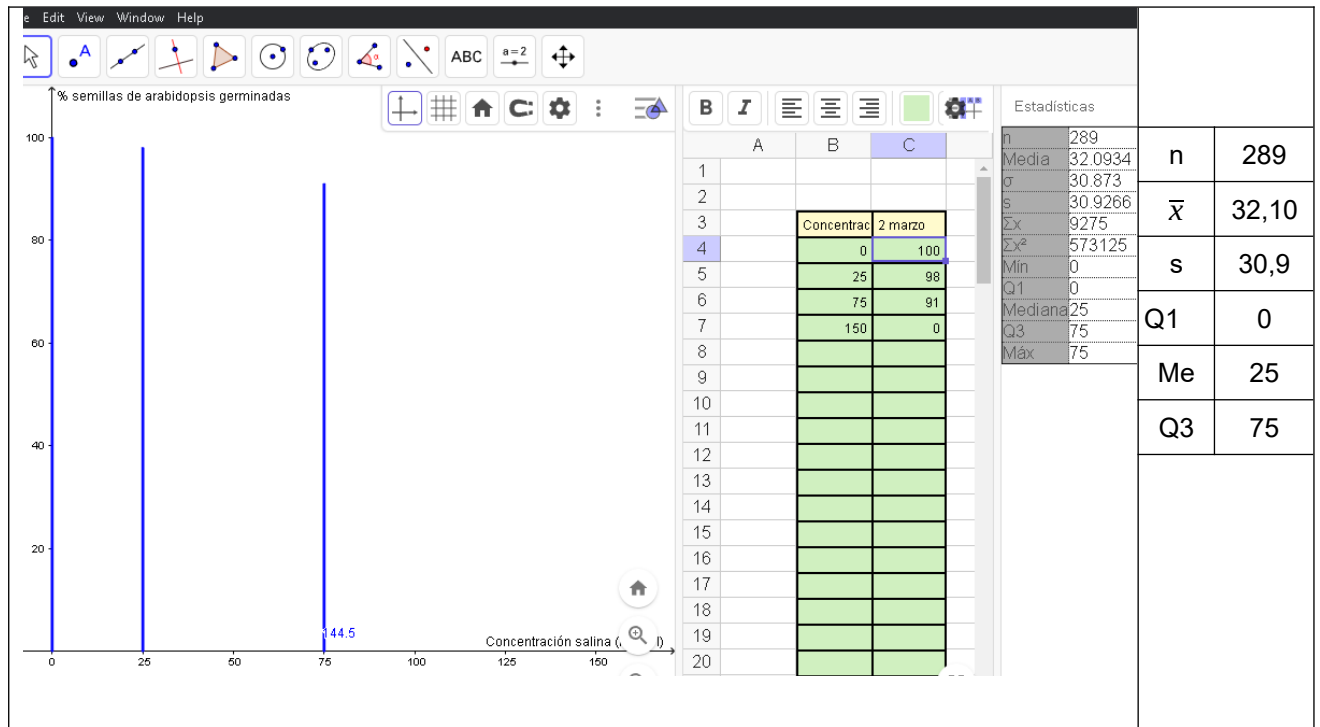
- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función lineal. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de espinaca germinadas para cada nivel de salinidad.



ARABIDOPSIS

- Cálculo de las medidas estadísticas:

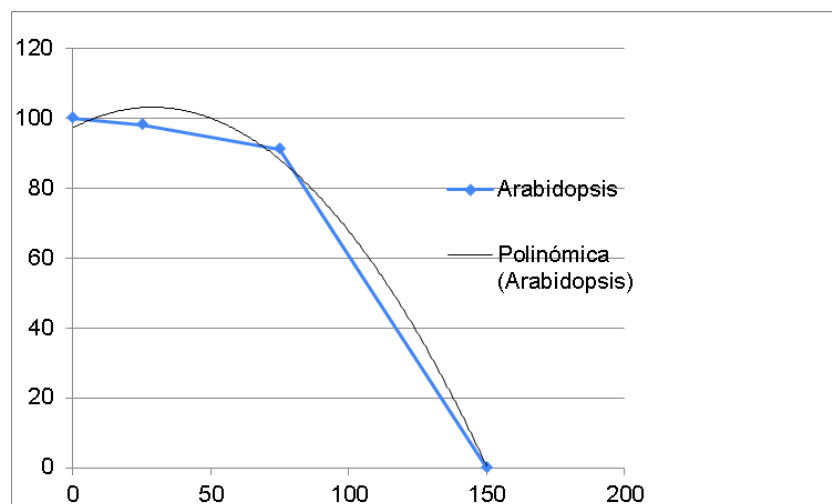


Podemos ver que para la arabidopsis la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 32,10$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 30,90$ mmol/l.

El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

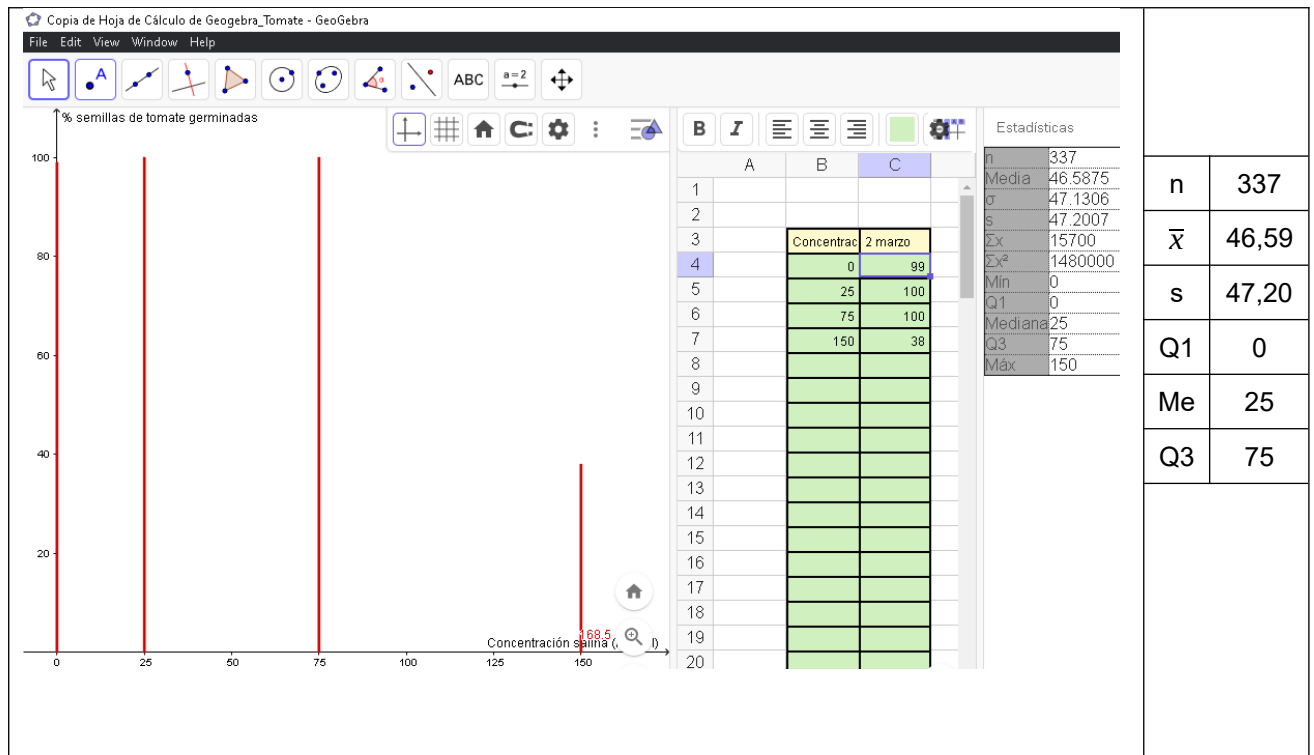
- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función polinómica de grado 2. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de arabidopsis germinadas para cada nivel de salinidad.



TOMATE

- Cálculo de las medidas estadísticas:

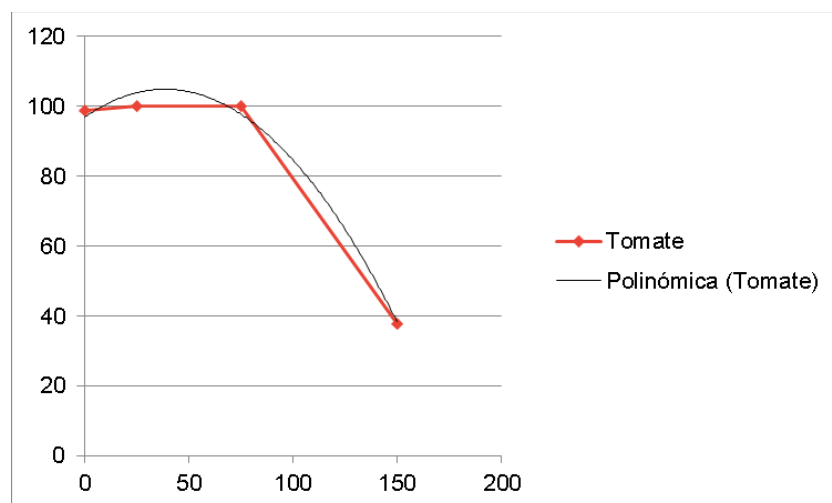


Podemos ver que para el tomate la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 46,59$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 47,20$ mmol/l.

El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

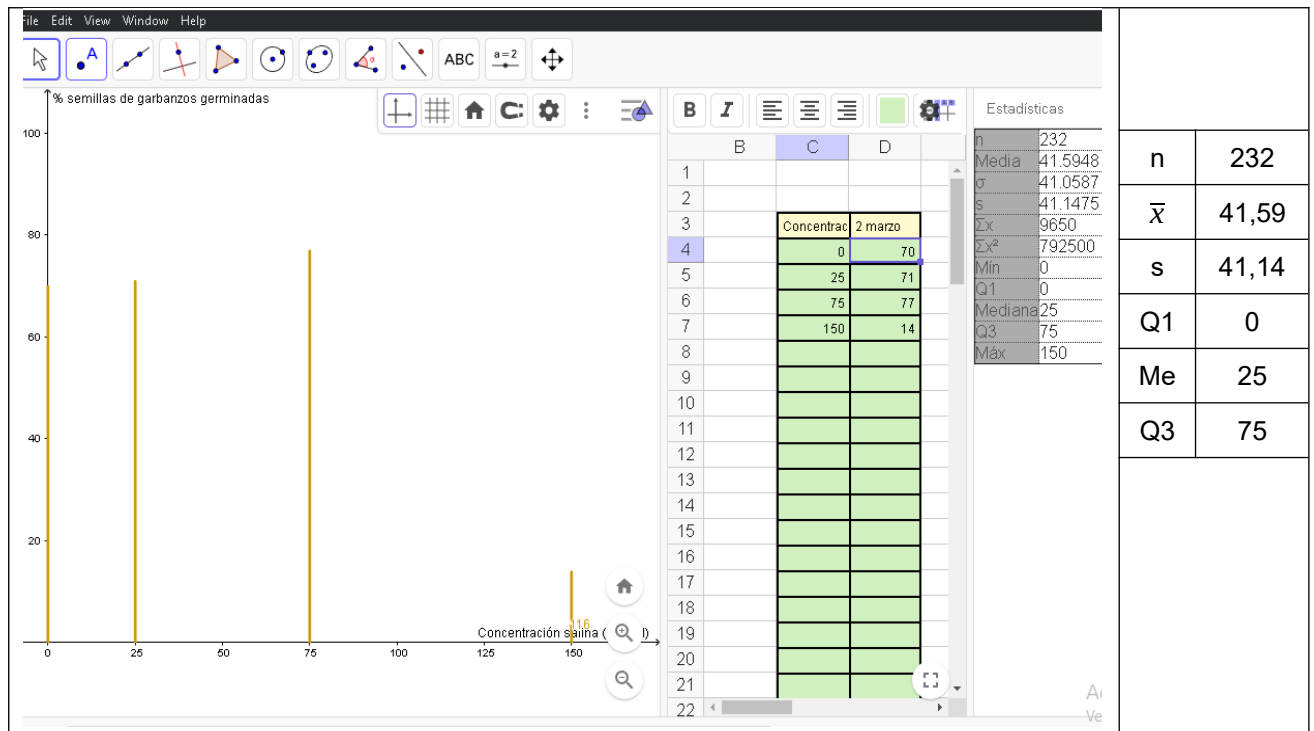
- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función polinómica de grado 2. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de tomate germinadas para cada nivel de salinidad.



GARBANZO

- Cálculo de las medidas estadísticas:

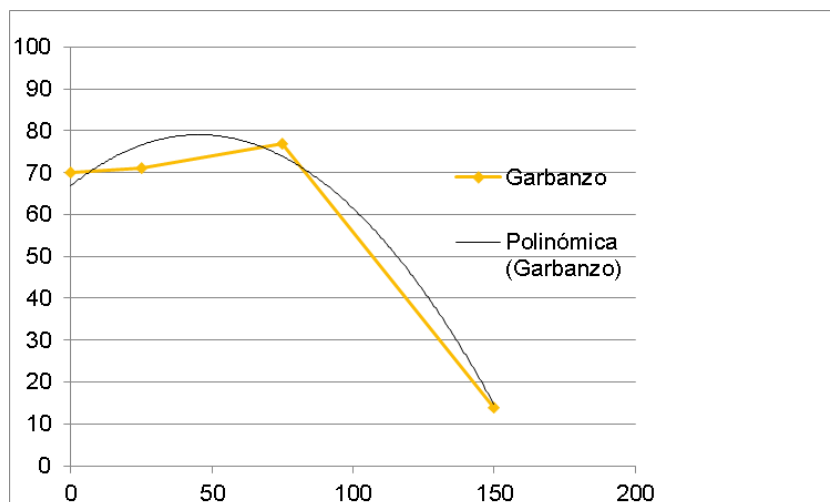


Podemos ver que para el garbanzo la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 41,59$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 41,14$ mmol/l.

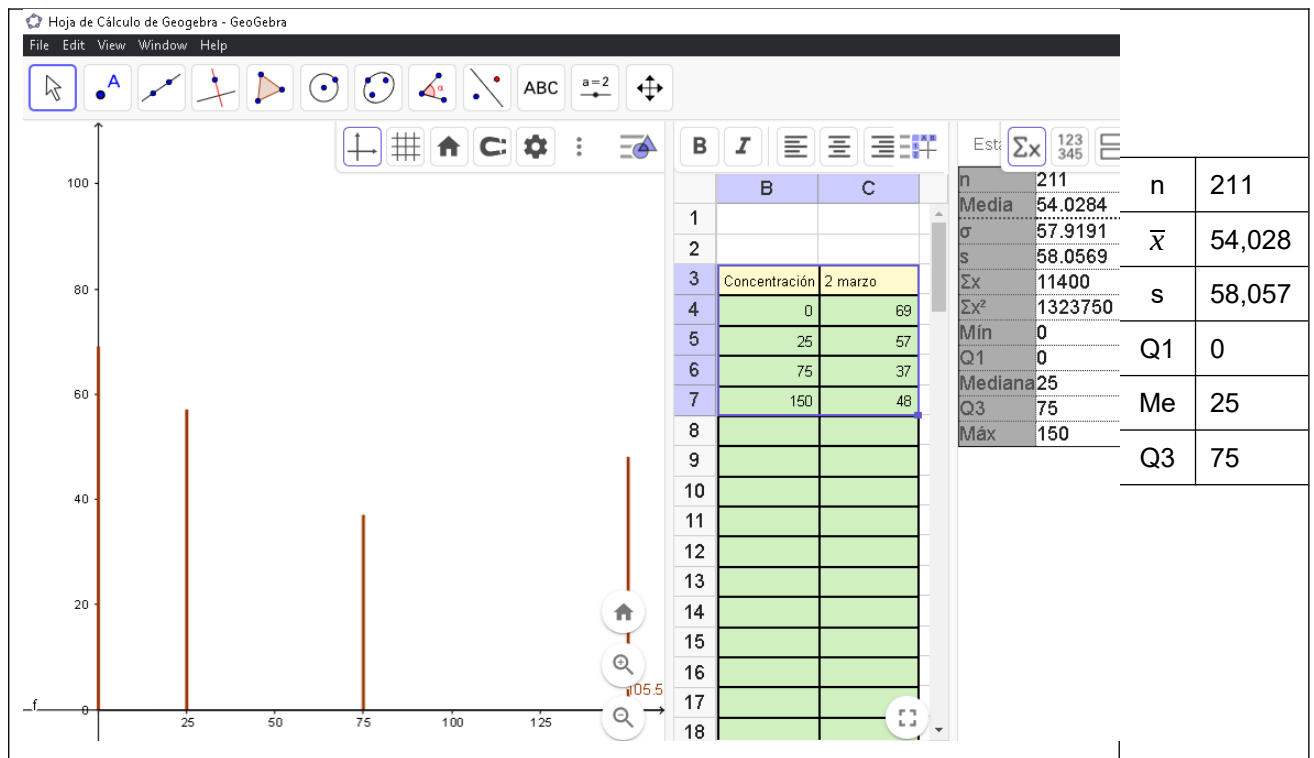
El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función polinómica de grado 2. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de garbanzo germinadas para cada nivel de salinidad.



LENTEJA

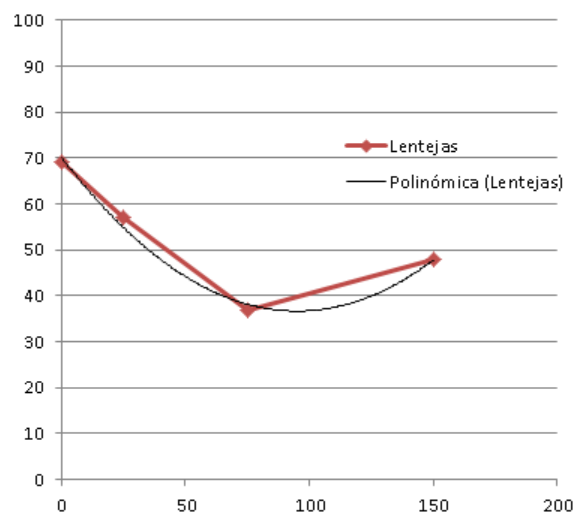


Podemos ver que para la lenteja la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 54,028$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 58,057$ mmol/l.

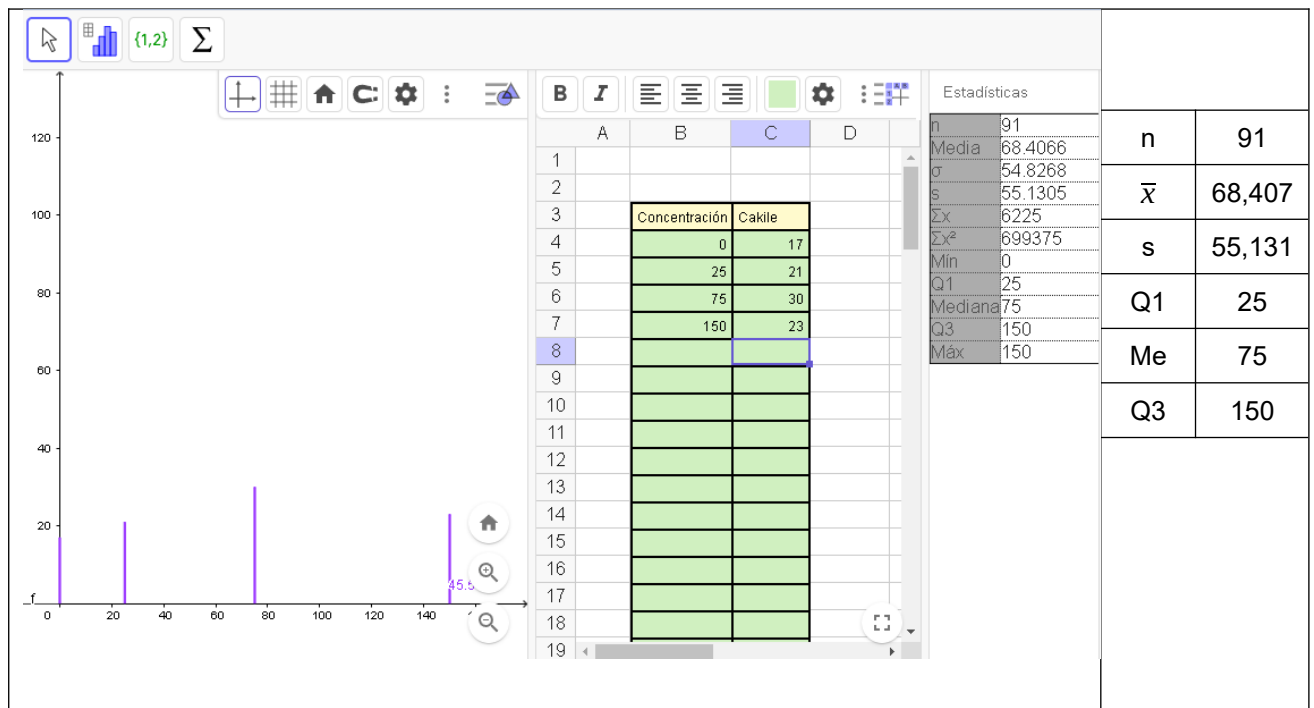
El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función polinómica de grado 2. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de lenteja germinadas para cada nivel de salinidad.



CAKILE

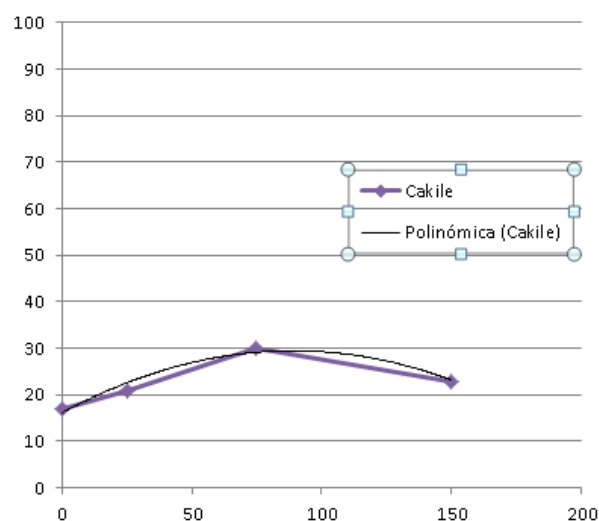


Podemos ver que para el Cakile la salinidad media de la muestra es $\bar{X} = 68,407$ mmol/l y la desviación típica de la muestra es $s = 55,131$ mmol/l.

El resto de medidas de centralización, posición y dispersión se comentan más adelante.

- Diagrama de dispersión:

El diagrama de dispersión se adapta a una función polinómica de grado 2. Con ella, podríamos estimar cuál sería el porcentaje de semillas de cakile germinadas para cada nivel de salinidad.



- Medidas de centralización, posición y dispersión:

Tipos de Semilla	n	$(\bar{x}-s, \bar{x}+s)$	% de semillas germinadas
Zanahoria	113	(5,62;108,1)	59%
Espinaca	27	(5,67; 120,33)	59%
Arabidopsis	289	(1,20; 63,00)	65%
Tomate	337	(-0,61; 93,79)	59%
Garbanzo	232	(0,45; 82,73)	64%
Lenteja	221	(-4,029; 112,085)	43%
Cakile	91	(13,276; 123,538)	56%

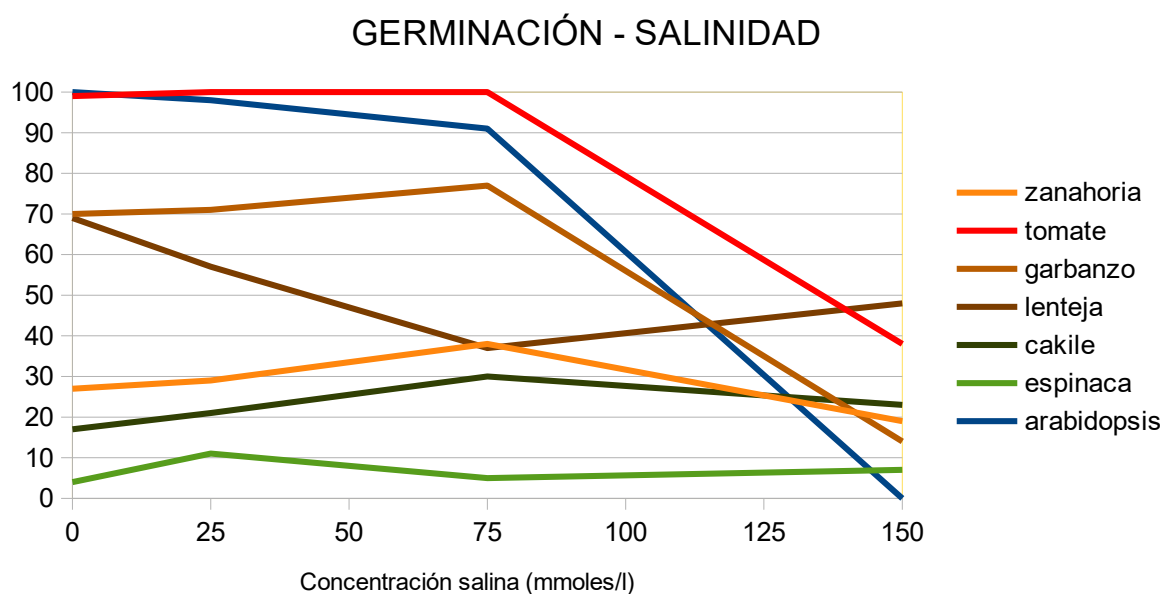
En todos los casos el porcentaje de datos que se encuentran en el intervalo $(\bar{x}-s, \bar{x}+s)$ es inferior al 68%, por tanto las distribuciones son heterogéneas y para poder compararlas utilizamos el coeficiente de variación $CV = \frac{s}{\bar{x}}$

Tipos de Semilla	CV (%)
Zanahoria	90,11
Espinaca	91,00
Arabidopsis	96,26
Tomate	101,31
Garbanzo	98,92
Lenteja	107,46
Cakile	80,59

El mayor coeficiente de variación se da para la muestra de lentejas, que además presenta la mayor desviación típica, lo cual nos indica que es la muestra más heterogénea.

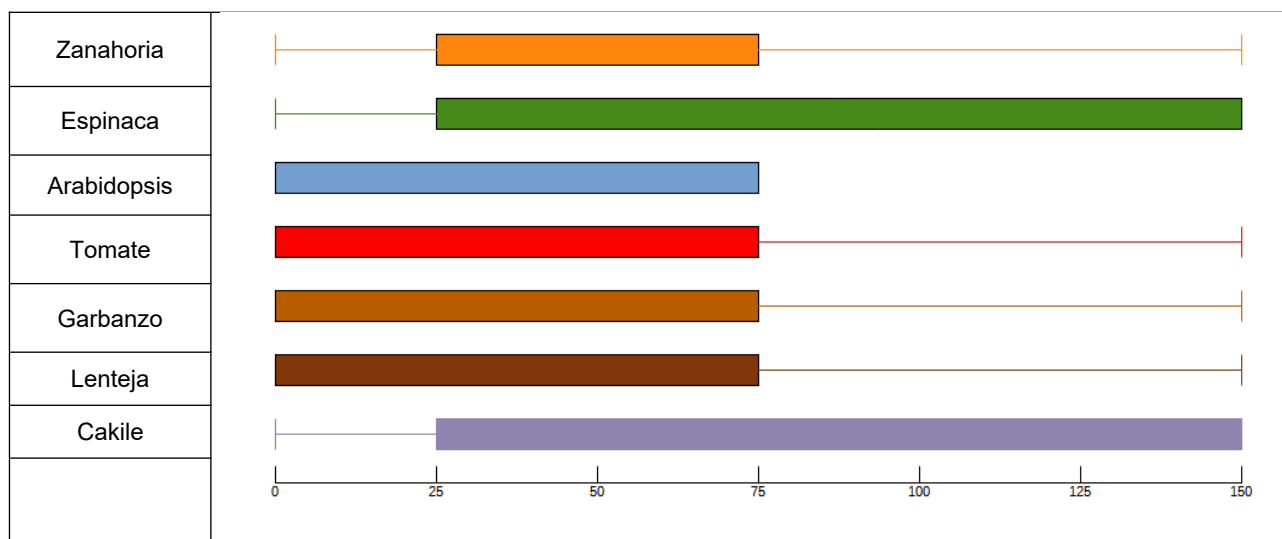
Se observa en general que los coeficientes de variación son muy altos para todas las muestras. Esto es debido a la dispersión de los datos, que puede venir dada por la propia naturaleza del experimento o a errores en la toma y contabilización de los datos.

A continuación presentamos un gráfico de líneas que nos permite conocer cómo evoluciona la germinación en función de las concentraciones de las soluciones y comparar dicha evolución para las distintas variedades de semillas.



Podemos observar que el porcentaje de germinación de la muestra de tomate está claramente por encima del resto de especies vegetales, presentando germinaciones alrededor del 100% para las concentraciones 0, 25 y 75 mmol/l, y reduciéndose más del 60% para la concentración 150 mmol/l.

Para concluir este estudio descriptivo, hemos representado conjuntamente el diagrama de cajas y bigotes para la salinidad a la que germina cada especie:



Tipo de Semilla	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Zanahoria	0	25	75	75	150
Espinaca	0	25	25	150	150
Arabidopsis	0	0	25	75	75
Tomate	0	0	25	75	150
Garbanzo	0	0	25	75	150
Lenteja	0	0	25	75	150
Cakile	0	25	75	150	150

Observando el diagrama de Cajas obtenemos los siguientes datos:

- El 25% de las semillas germinadas en la zanahoria, espinaca y Cakile, corresponden a la soluciones de concentración 0 ó 25 mmol/l.
- El 25% de las semillas de arabidopsis, tomate, garbanzo y lenteja no germina en soluciones de concentración igual o menor a 25 mmol/l.
- El 50% de las semillas de espinaca, arabidopsis, tomate, garbanzo y lenteja germinan en las soluciones de concentración 0 ó 25 mmol/l.
- El 50% de las semillas de zanahoria y cakile germinan en las soluciones de concentración menor o igual a 75 mmol/l.
- El 75% de las semillas de todas las especies, a excepción de la espinaca y el cakile, germinan con concentraciones salinas menores o iguales a 75 mmol/l.
- El 75% de las semillas de espinaca y cakile germina en soluciones de concentración salina menor o igual a 150 mmol/l.
- Los datos están muy dispersos, de ahí la clara asimetría que presentan las cajas respecto a la mediana en todas las variedades vegetales.
- Como podemos observar no aparecen valores atípicos en ningún caso, por lo que se han tomado todos para el cálculo de parámetros.

ESTUDIO INFERENCIAL DE LA VARIABLE SALINIDAD PARA LAS DISTINTAS ESPECIES VEGETALES.

Basándonos en el Teorema Central del Límite, podemos afirmar que si la población es grande, $n \geq 30$, las medias muestrales \bar{x} siguen una distribución Normal $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$, por lo que podemos hallar los siguientes intervalos de confianza para la media del porcentaje de germinación para cada una de las especies vegetales con un nivel de confianza del 95%. Además, como $n \geq 30$ podemos suponer que $\sigma = s$, ya que no conocemos la desviación típica de la población.

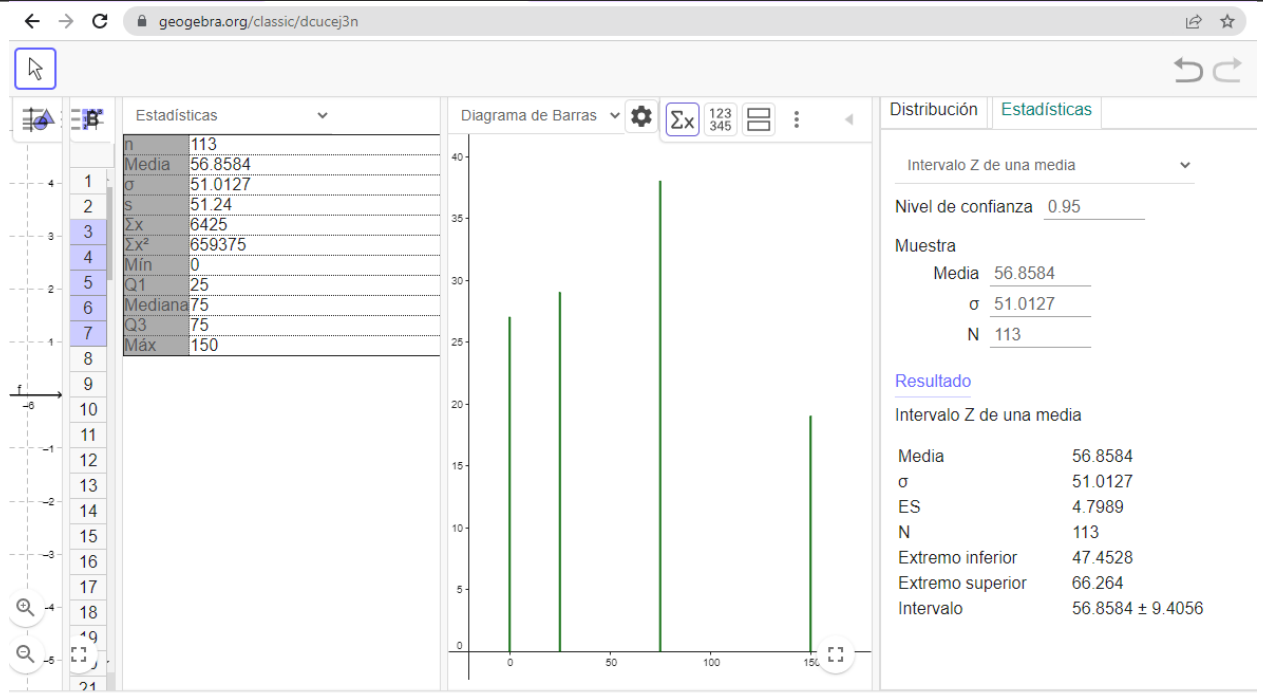
De este modo, el intervalo de confianza para la media poblacional es:

$$\left(\bar{X} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

Dónde $Z_{\alpha/2}$ es el valor crítico tal que $P(X \leq Z_{\alpha/2}) = 1 - \alpha/2$.

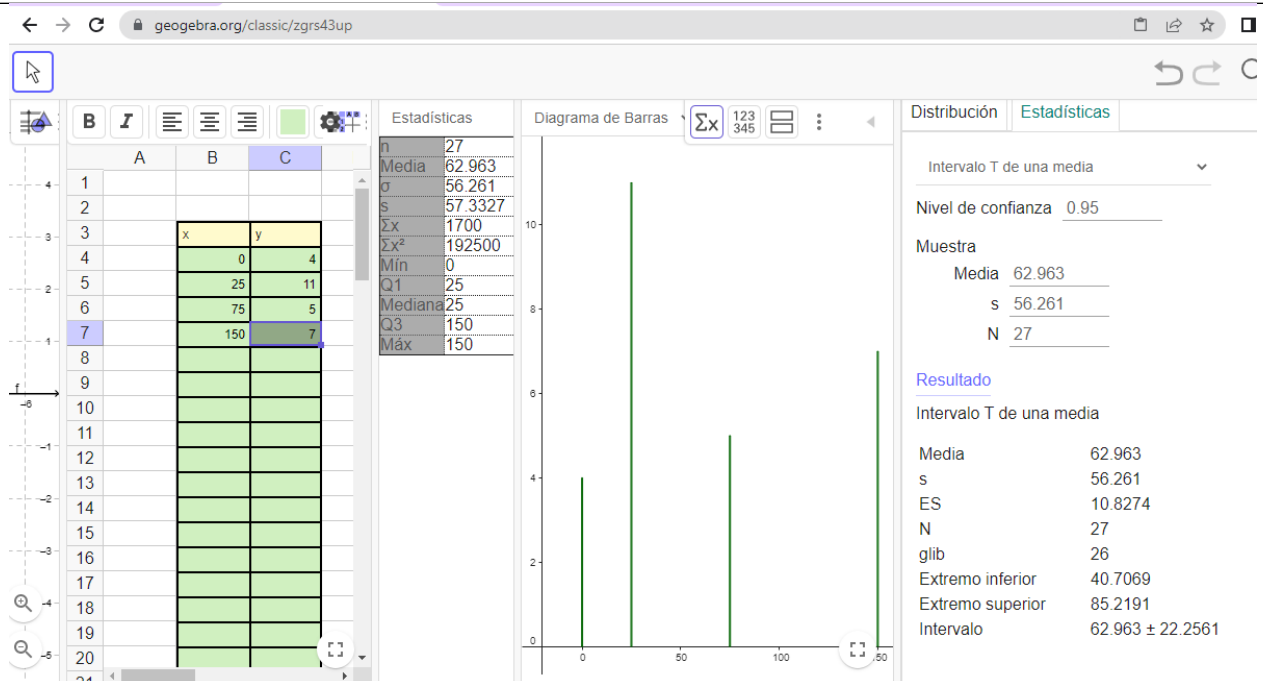
Los cálculos los hemos realizado con el programa Geogebra.

INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN LA ZANAHORIA



La salinidad media de germinación en la zanahoria se estima entre 47,45 mmol/l y 66,26 mmol/l aproximadamente, con una confianza del 95%.

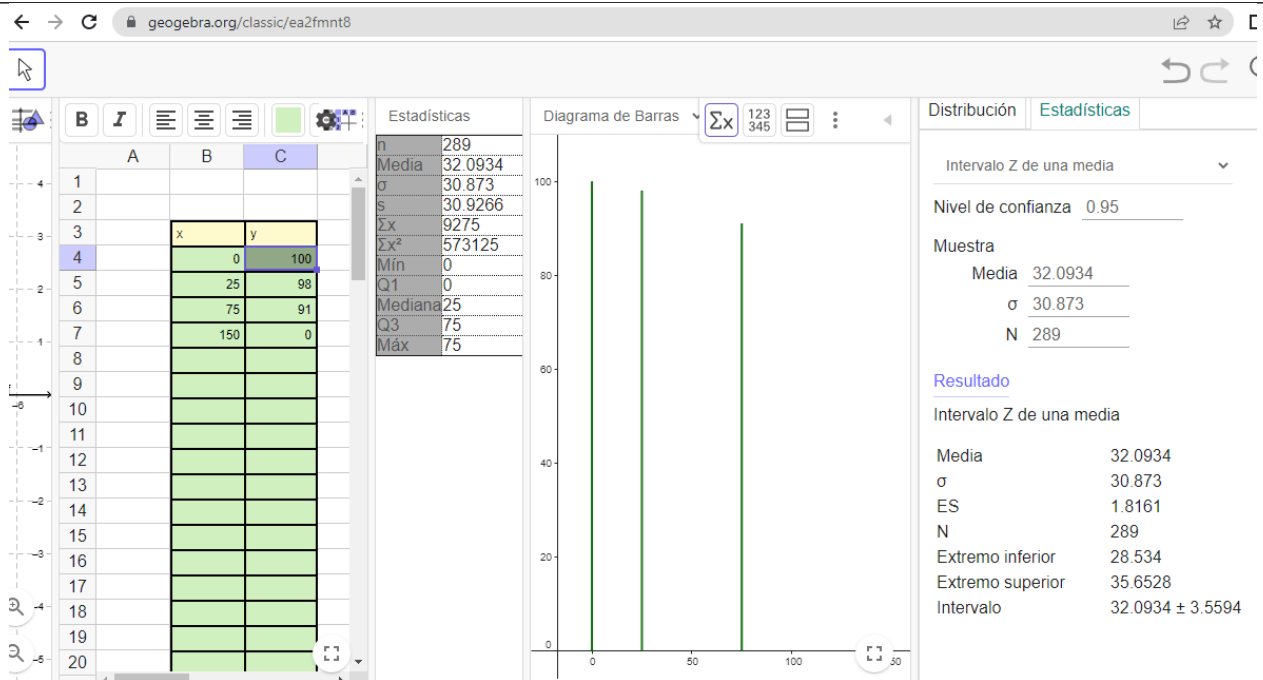
INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN LA ESPINACA



La salinidad media de germinación en la espinaca se encuentra en el intervalo (40,71 mmol/l; 85,21 mmol/l) aproximadamente, con una confianza del 95%.

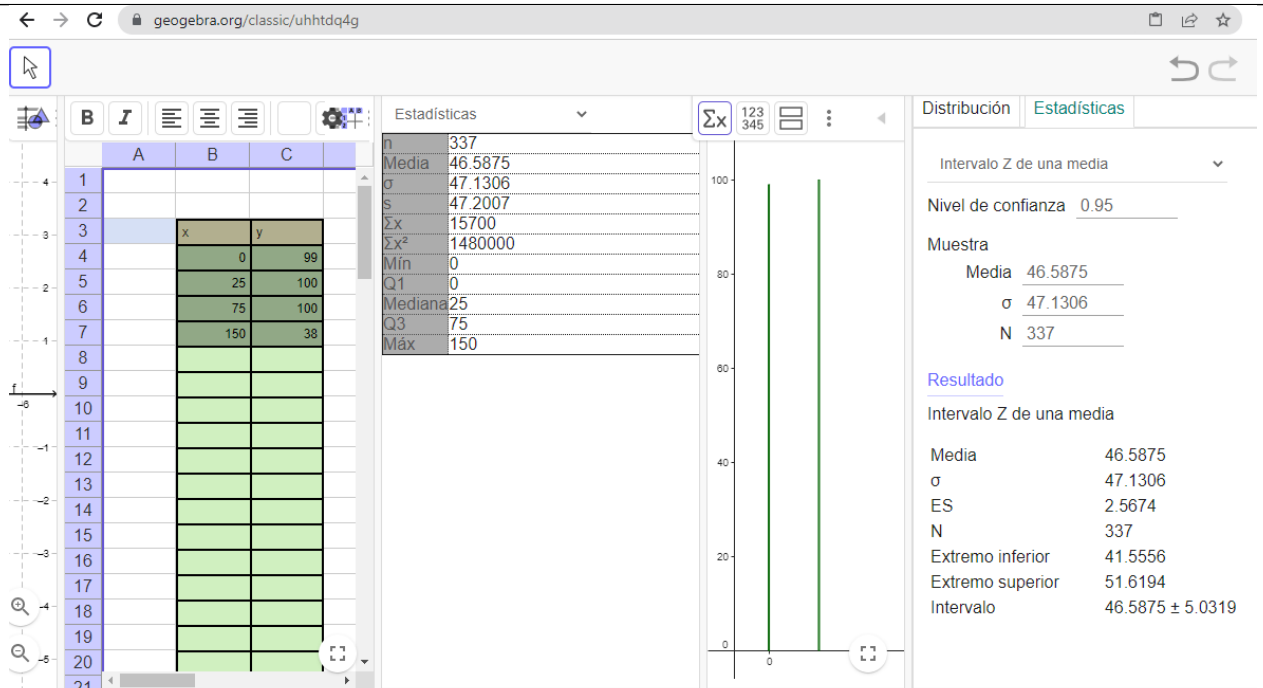
En el estudio de las espinacas, como $n < 30$, consideramos que las medias muestrales siguen una distribución T (de Student). La distribución T (de Student) es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño y la desviación estándar poblacional es conocida.

INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN LA ARABIDOPSIS



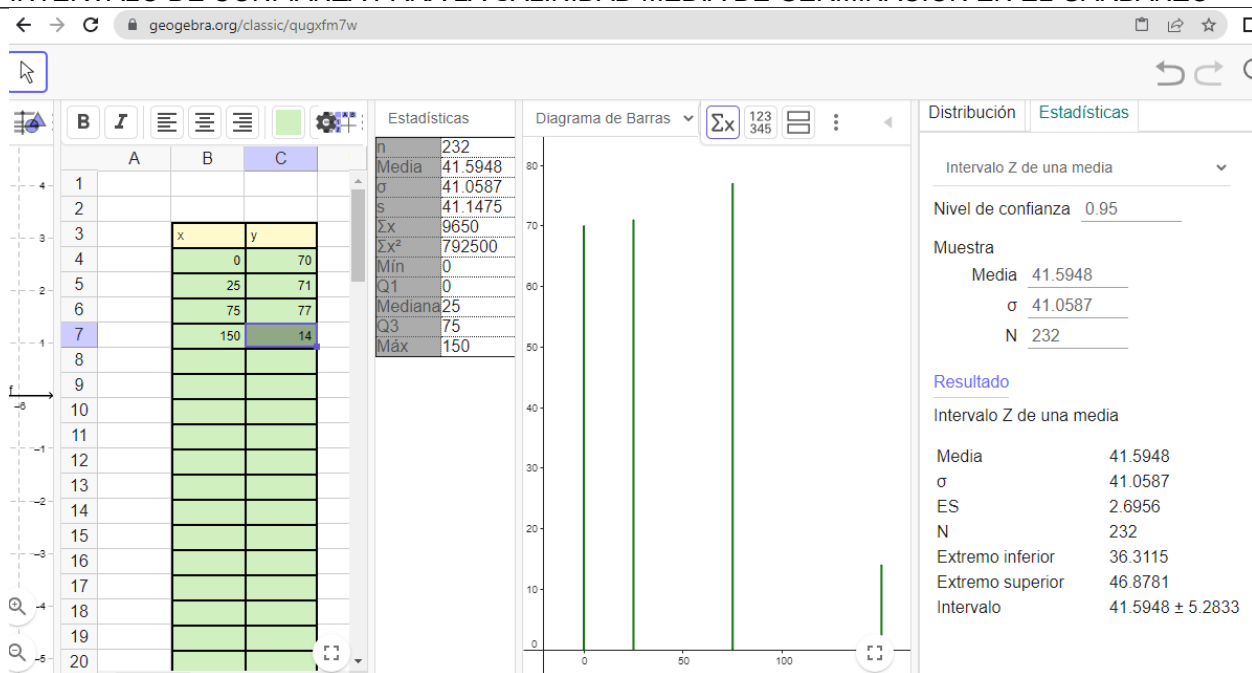
Con un nivel de confianza del 95%, la salinidad media de germinación en la arabidopsis se encuentra entre 28,53 mmol/l y 35,65 mmol/l aproximadamente.

INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN EL TOMATE



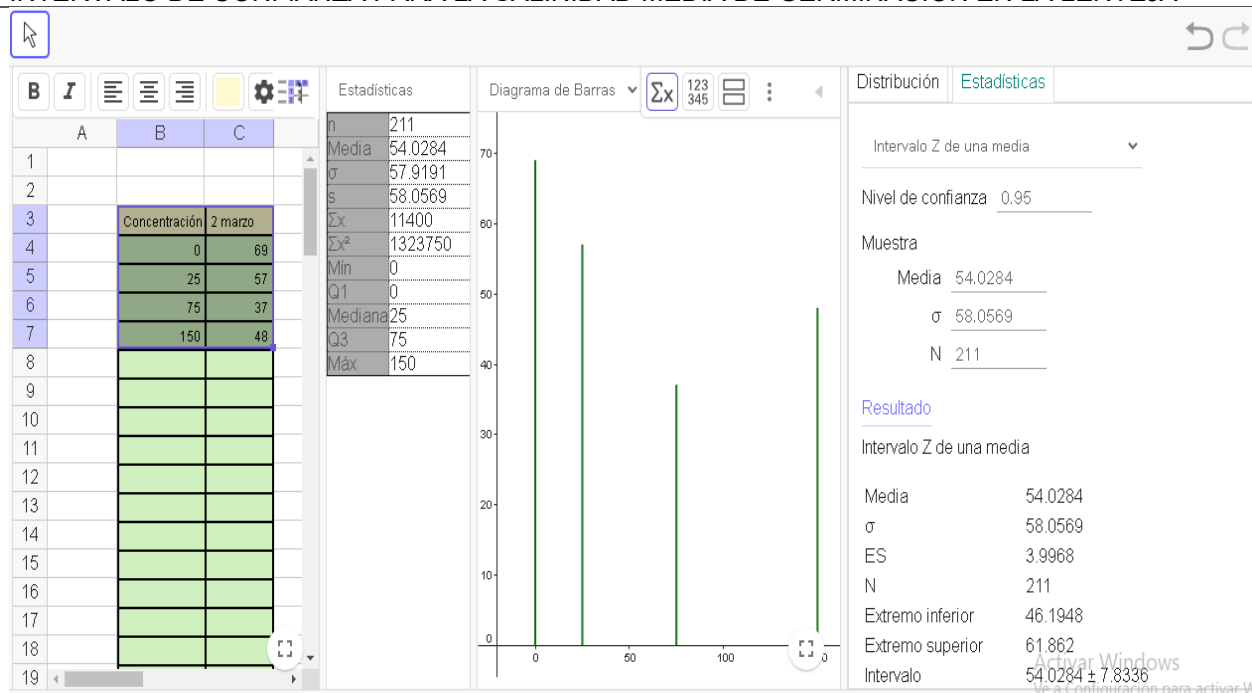
Con un nivel de confianza del 95%, la salinidad media de germinación en el tomate se encuentra en el intervalo aproximado (41,56 mmol/l, 51,62 mmol/l).

INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN EL GARBANZO



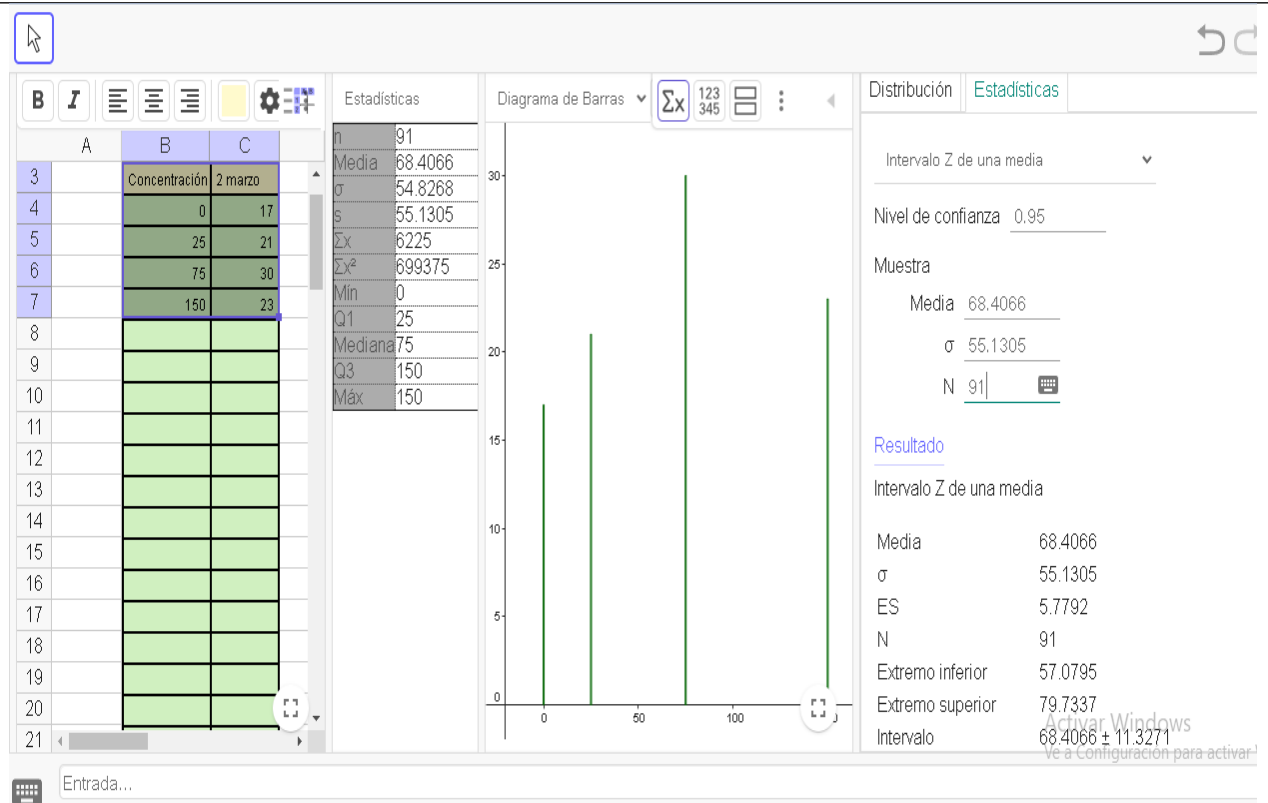
La salinidad media de germinación en el garbanzo se encuentra entre 36,31 mmol/l y 46,87 mmol/l aproximadamente con una confianza del 95%.

INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN LA LENTEJA



La salinidad media de germinación en la lenteja se encuentra entre 46,19 mmol/l y 61,86 mmol/l aproximadamente con una confianza del 95%.

INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA SALINIDAD MEDIA DE GERMINACIÓN EN EL CAKILE



Con un nivel de confianza del 95%, la salinidad media de germinación en el tomate se encuentra en el intervalo aproximado (57,08 mmol/l, 79,73 mmol/l).

5. CONCLUSIONES

- En primer lugar, como podemos observar en los diagramas de barras, este estudio se podría haber limitado en el tiempo a 10 días, ya que el porcentaje de germinación permanece en todas las disoluciones y en todas las semillas prácticamente constante a partir del día 20 de febrero.
- El diagrama de barras de la muestra de espinacas indica claramente que la semilla utilizada no se encontraba en condiciones óptimas. El porcentaje de germinación está muy por debajo del resto de las especies. Estas semillas procedían de un paquete abierto hacía más de un año. Concluimos que la calidad de la semilla queda reducida con la exposición a las condiciones ambientales.
- El porcentaje mayor de germinación se obtiene en la zanahoria, tomate, garbanzo y cakile para la disolución de concentración salina 75 mmol/l.
- En cuanto al objetivo marcado de conocer las concentraciones salinas más favorables para la germinación de las semillas de alimentos de consumo diario, podemos concluir del presente estudio:
 - Cabe destacar la resistencia del tomate a la salinidad, siendo el porcentaje de germinación muy similar para las concentraciones de 50, 75 y 150 mmol/l. Han germinado un total de 337 semillas de las 400 muestreadas (84,25 %), con una concentración salina media de 46,6 mmol/l. La siguiente especie con mayor número de semillas germinadas es la arabis, con un total de 289 sobre 400 (72,25%), y una concentración salina media de 32 mmol/l. El porcentaje de germinación del tomate es aproximadamente un 12% superior a la arabis y admite una concentración salina media superior en 14 mmol/l.

- El peor resultado en cuanto a germinación se refiere, corresponde a la zanahoria, siendo el porcentaje de germinación de 28,25 %.
- Habitualmente los parámetros que se tienen en cuenta en la agricultura para caracterizar las aguas aptas para el riego de cultivos son el pH y la conductividad eléctrica, que determinan indirectamente la salinidad del agua. De este modo es difícil encontrar un valor de concentración de sal que caracterice a las aguas de regadío, pero según las fuentes consultadas, este valor podría oscilar entre los 2 g/l y 4 g/l. Esto correspondería a salinidades entre 30 y 60 mmol/l aproximadamente. Según este dato, con los experimentos realizados se ha conseguido el objetivo principal del proyecto, ya que se han conseguido germinaciones en varias especies por encima de estos valores de concentración.
- La salinidad media del mar Mediterráneo se estima en 38 g/l, lo que correspondería aproximadamente a una concentración de 650 mmoles/l. Así, comprobamos que en el experimento hemos trabajado con aguas excesivamente desaladas. Pensamos que habría sido interesante realizar este estudio para concentraciones superiores a 150 mmol/l.
- En el inicio del proyecto decidimos repartir las semillas de las que disponíamos en muestras de 100 unidades, y estudiar 4 concentraciones diferentes. Después de realizar el estudio y análisis de los resultados, concluimos que si hubiéramos repartido más las muestras y hubiéramos estudiado un número mayor de salinidades, hubiéramos dispuesto de más valores de la variable, con lo que habríamos podido caracterizarla mejor estadísticamente.
- Posibles líneas futuras de continuación del estudio:
 - La continuación de nuestra investigación podría consistir en pasar las semillas a una maceta, y hacer un estudio del crecimiento (tallo, hojas, fruto...) de las mismas especies, regadas con agua del mar diluida a las mismas concentraciones.
 - Otra posibilidad podría ser analizar el desarrollo de las raíces, ya que el agua del mar contiene magnesio y otros minerales que favorecen la germinación, y pudiera ser que, aunque se produzca ésta y se desarrolle una primera radícula, la raíz no continuase su crecimiento.

6. FUENTES CONSULTADAS

Callejón, Román. Agricultores se manifiestan este jueves para reclamar que se ejecuten las conducciones de la presa de Rules. Granada digital, 16 de octubre de 2014. Disponible en: <https://www.granadadigital.es/agricultores-se-manifiestan-este-jueves-para-reclamar-que-se-ejecuten-las-conducciones-de-la-presa-de-rules/>

La Vanguardia, 13 de septiembre de 2014. Agricultores se manifiestan para pedir canalizaciones presa de Rules. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/local/sevilla/20140913/54415934435/agricultores-se-manifiestan-para-pedir-canalizaciones-presa-de-rules.html> [Consultado en 2023]

Navarrete, Mercedes. La Costa prepara una nueva gran manifestación en octubre para exigir las canalizaciones de Rules. Ideal, 1 de septiembre 2022. Disponible en: <https://www.ideal.es/granada/costa/protesta-madrid-exigira-20220902163941-nt.html> [Consultado en 2023]