



**Universidad Autónoma de Querétaro**

**Facultad de Bellas Artes**

**Creación de obra musical específica como inductor físico para estimular el  
crecimiento de la lechuga romana a través de su exposición a dicha  
composición**

**Tesis**

**Que como parte de los requisitos para**

**obtener el Grado de**

**Licenciado en Música línea terminal en instrumento**

**Presenta**

**Laura Xóchitl Cruz Cárdenas**

**Dirigido por:**

**M. en A. Laura Chávez Blanco**

**Querétaro, Qro., a 11 de noviembre de 2019**



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



Creación de obra musical específica como inductor  
físico para estimular el crecimiento de la lechuga  
romana a través de su exposición a dicha  
composición

**por**

Laura Xóchitl Cruz Cárdenas (1)

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0  
Internacional](#).

**Clave RI:** BALIN-237213



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Bellas Artes

Licenciatura en música con línea terminal en instrumento

**Creación de obra musical específica como inductor físico para estimular el  
crecimiento  
de la lechuga romana a través de su exposición a dicha composición**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de  
Licenciado en Música, línea terminal en instrumento

Presenta  
Laura Xóchitl Cruz Cárdenas

Dirigido por  
M. en A. Laura Chávez Blanco

M. en A. Laura Chávez Blanco  
Presidente

ITA Michel Marín Gallegos  
Secretario

M. en I.B. Daniel Alejandro Arriaga Madrid  
Vocal

Lic. Efraím Escobar Ramírez  
Suplente

Mtro. Serguei Sokolov  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
11 de noviembre de 2019  
México

## RESUMEN

La presente investigación pretende ofrecer un método alternativo de producción de lechuga romana basado en la exposición sonora musical para eficientar su crecimiento, a partir de la detección, análisis, composición y exposición de la misma a sus propias frecuencias naturales emitidas por la raíz. Este interés surge de observar la relación del crecimiento demográfico mundial y la producción agrícola actual y proyectada. Para el año 2050 se estima un aumento de la población cercano a los 9 700 millones de personas, por lo tanto la demanda de alimento aumentará y el espacio para cultivo disminuirá. Trabajos previos como los de Singh, Smith, Measures y Weinbergr, Hageseth, Retallack y Sternheimer entre otros, dejan un antecedente en esta línea de investigación. A través de la acústica, la agronomía e ingeniería en tecnologías de automatización, la estadística y la composición, se llevó a cabo el presente trabajo obteniendo resultados favorables en cuanto a la reducción de las semanas de cultivo.

**Palabras clave:** composición, música, lechuga romana, acústica, optimización de cultivos

## SUMMARY

The current investigation aims to provide an alternative method for Roman lettuce production based on the musical sound exposure to make its growth efficient, from detection, analysis, composition and exposure to its own natural frequencies emitted by the root. This interest stems from observing the relation between world population growth and current and projected agricultural production. By 2050, the population is expected to increase by nearly 9.7 billion people, so the demand for food will increase and the space for cultivation will decrease. Prior works such as those from Singh, Smith, Measures and Weinbergr, Hageseth, Retallack and Sternheimer, among others, sets a precedent in this research line.

Through acoustics, agronomy and engineering in automation technologies, statistics and composition, the present work was carried out obtaining favorable results regarding cultivation weeks reduction.

Keywords: composition, music, romaine lettuce, acoustics, crop optimization

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se llevó a cabo gracias a la colaboración, apoyo y ayuda de muchas personas que decidieron de forma desinteresada apoyarme a lo largo de estos años de arduo trabajo.

Agradezco también a la Mtra. Laura Chávez Blanco por aceptar involucrarse en este proyecto que no tenía pies ni cabeza y que con su ayuda pudimos culminar este logro, gracias por su paciencia y por enseñarme a acomodar todo lo que pasa en mi cabeza, gracias por su esfuerzo y disposición de ser cómplice en todas las aventuras dentro de este proyecto.

Gracias al Ing. Michel Marín Gallegos, por su disposición de aceptar este gran reto, gracias por el apoyo económico y moral que de forma desinteresadamente me dio. Gracias por creer en mí y ser paciente ante las circunstancias. Agradezco también a todo su equipo de trabajo por su apoyo brindado en la parte de ingeniería y automatización de este proyecto.

Al Mtro. Daniel Arriaga por su apoyo brindado dentro y fuera del Campus Amazcala, por su guía y dirección para que las lechugas tuvieran un buen cultivo y por haber brindado su conocimiento en la colaboración desinteresada de este proyecto.

De forma especial agradezco al Dr. Gilberto Herrera Ruiz, ex rector de la Universidad Autónoma de Querétaro, por abrirme las puertas de la universidad para llevar a cabo este proyecto dentro de las instalaciones de la misma, gracias por dirigirme a las personas correctas, por interesarse en el proyecto y por confiar en la investigación.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de la UAQ por haber facilitado las instalaciones y los recursos materiales necesarios para llevar a cabo esta investigación dentro de su facultad.

Gracias al Dr. Manuel Toledano por su apoyo, colaboración y disposición para resolver las crisis de este proyecto.

Gracias al Dr. Enrique Rico por su apoyo y atención prestado para el buen desarrollo del proyecto.

Agradezco a todos los docentes que con su sabiduría conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional de la Facultad de Bellas Artes de la UAQ.

Gracias a mi alma mater La Universidad Autónoma de Querétaro por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme con apoyo y conocimiento.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	III
SUMMARY .....	IV
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS.....	XI
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	6
CAPÍTULO III MARCO CONCEPTUAL.....	12
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA .....	17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	67
REFERENCIAS.....	69
ANEXO 1 PESO FRESCO Y SECO .....	73
ANEXO 2. ANÁLISIS BOMATOLÓGICOS .....	74

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1 Dorothy Retallack .....	14
imagen 2.2 Joel Sternheimer.....	14
Imagen 4.1 Esquema General del equipo de medición. Funcionamiento general del equipo. 0= PLC 1=Módulo de entradas analógicas 2=Disparador Scmith. Fuente propia .....	21
Imagen 4.2 fuente propia. Circuito integral, amplificador. ....	22
Imagen 4.3 Etapas de desarrollo de la investigación. Fuente propia. ....	23
Imagen 4.4 Vista lateral derecho del invernadero asignado por el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.....	24
Imágenes 4.5 Vista frontal Invernadero asignado por el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. Fuente propia. ....	25
Imagen 4.6 Invernadero. Vista frontal interna del invernadero. La siembra que se muestra no corresponde a este experimento. Fuente propia .....	26
Imagen 4.7 Semillas listas para germinación. Fuente propia. ....	28
Imagen 4.8 Macetas instaladas dentro de la cámara de germinación. Fuente propia. ....	29
Imagen 4.9 Instalación de equipo de medición. Fuente propia .....	30
Imagen 4.10 Instalación de plántulas y equipo en el invernadero. Fuente propia. ....	31
Imagen 4.11 Trasplante dentro del invernadero. Fuente propia.....	32
Imagen 4.12 Instalación de riego por goteo. Fuente propia .....	33

Imagen 4.13 Ciclo de adquisición de datos y cambio a formato audio.....	35
Imagen 4.14 Muestra del <i>Pick Hold</i> para el análisis de frecuencias.....	36
Imagen 4.15 Ejemplo del vaciado de datos de frecuencias por semana y por planta. ....	37
Imagen 4.16 Distribución de frecuencias agudas en la composición 1. Fuente propia. ....	40
Imagen 4.17 Ejemplo de la distribución de las demás frecuencias. Fuente propia. ....	41
Imagen 4.18 Distribución de frecuencias agudas en la composición 2. Fuente propia. ....	41
Imagen 4.19 Acomodo de frecuencias en la composición 2. Fuente propia .....	43
Imagen 4.20 Acomodo de las frecuencias en la composición 2. Fuente propia. ....	44
Imagen 4.21 Muestra de la instalación del semillero dentro de la caja de madera. Fuente propia. ....	46
Imagen 4.22 Trasplante a suelo. Fuente propia.....	47
Imagen 4.23 Lechugas recién trasplantadas e instalación de equipo. ....	48
Imagen 4.24 Distribución gráfica después de trasplante.....	49
Imagen 4.25 Lechugas dentro del invernadero. Semana #9. Fuente propia. ....	50
Imagen 4.26 Lugar de la bocina frente al semillero. Fuente propia.....	52
Imagen 4.27 Lugar de la bocina después de trasplante. Fuente propia.....	53
Imagen 4.28 Lechugas con 11 semanas cumplidas. Día de cosecha. Fuente propia. ....	54

Imagen 4.29 Crecimiento de la P24 y P9 en dirección contraria a la bocina, P25 y P8 creciendo en dirección a la bocina. Fuente propia. ....	64
Imagen 4.30 Muestra del tallo torcido de una lechuga. Fuente propia. ....	65
Imagen 4.31 Representación gráfica del acomodo de las lechugas .....	66
Imagen A 2.1 Análisis bromatológicos de la lechuga #16 .....	74
Imagen A 2.2 Análisis bromatológicos lechuga #05 .....	74
Imagen A 2.3 Análisis bromatológicos lechuga #22 .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 4.1 Frecuencias en Hz usadas en la composición 1. ....	38
Tabla 4.2 Frecuencias usadas en la composición 2.....	39
Tabla 4.3 Crecimiento semanal en cm. ....	58
Gráfica 4.1 Porcentaje de crecimiento semanal. No se observa la semana 11 ya que solo fue una lechuga que alcanzó el 108.2% de crecimiento. Fuente propia. ....	62
Gráfica 4.2 % de crecimiento semanal P25. Fuente propia. ....	63
Gráfica 4.3 % de crecimiento semanal P26. Fuente propia ....	63
Tabla A 1.1 de peso fresco y seco en gramos .....	73
Gráfica A 2.1 de resultados comparados con bibliografía .....	76
Gráfica 2.2 de resultados comparados entre las lechugas tratadas .....	77

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

La forma habitual de gestionar la agricultura ya no es una opción. Para el año 2050 se espera un aumento proyectado de la población cercano a los 9 700 millones de personas (Nations, 2017), por lo tanto la demanda de alimento aumentará y el espacio para cultivo disminuirá. Por ello el reto es mejorar la productividad agrícola de forma sostenible para satisfacer la demanda, enfocándose a la reducción de la explotación de los recursos naturales, la deforestación y la degradación del suelo.

Los pequeños productores forman parte importante para la seguridad alimentaria, ya que se estima que al menos 500 millones de pequeños productores alimentan a 2 mil millones de personas (1/3 de la población mundial). Se llama pequeño productor a propiedades agrícolas con las siguientes características: (Proctor & Lucchesi, 2012, pág. 26)

- Tierras trabajadas primordialmente por una familia, la cual invierte la mayoría de su tiempo en el trabajo agrícola.
- Aquellos que trabajan menos de 2 hectáreas de tierra agrícola.
- Donde el principal ingreso económico de la familia es agrícola practicando una mezcla de producción comercial y/o de subsistencia.

“Se debe suponer que la seguridad alimentaria mundial y también nacional dependen fuertemente del rendimiento del sector de la producción agrícola a pequeña escala”. (Proctor, 2013)

A pesar de la importancia que tiene el pequeño productor para la seguridad alimentaria la cantidad de pequeños productores en Kenia, Senegal y Bolivia ha ido disminuyendo entre 1980 y 2008, mientras que en algunas regiones de África subsahariana se multiplicó. En México la situación de los pequeños productores ha ido disminuyendo, en primera estancia la población rural se redujo un 28.7%

del total de los habitantes menores a 2,500 habitantes en 1990 a 23.2% en 2010, y en el caso de la población agrícola disminuyó de 17.5 % en el año 2000 a 13.5% en 2010. Por otro lado, la contribución al PIB (Producto Interno Bruto) ha descendido de 6.1% en 1989 a 3.3% en 2012. Dentro del campo mexicano existe una asimetría considerable en el acceso del recurso, el 17.7% de producción agrícola cuentan con riego y el 2% utilizan riego por goteo, el 43.9% usa tractor y el 99.6% lo renta. Debido a estas situaciones los pequeños productores mexicanos van a la baja, viéndose obligados a incrementar estrategias agrícolas. (Alejandro, 2013)

Los pequeños productores fungen con roles determinante e importantes como:

- Impulsores económicos
- Proveedores de empleo
- Reducción de pobreza
- Reducción de servicios ambientales
- Distribución y desigualdad en la adquisición de tierras

Anríquez y Bonomi (2007) en su estudio *“Long-Term Farming Trends. An Inquiry Using Agricultural Censuses”* intentan ofrecer una solución a largo plazo sobre las tendencias en la agricultura. En este estudio, en el cual se tomaron en cuenta a 17 países de 3 continentes, observaron que:

1. La distribución equitativa de tierras afecta directamente a la distribución de los beneficios del desarrollo agrícola equitativo
2. La política económica bimodal favorece a la agricultura a gran escala, lo cual demuestra un aumento en la desigualdad en la distribución de tierras, que podría traer como consecuencia en el tamaño de propiedad agrícola requerido para una viabilidad económica.

3. El sistema de cultivo a pequeña escala es más específico a cultivos básicos en comparación con los de gran tamaño, ya que el comercio se empieza a diversificarse, cierra las puertas al pequeño productor.
4. La productividad parcial del pequeño productor es mayor a la de propiedades medianas.
5. Las propiedades agrícolas de gran tamaño muestran una productividad mayor y con el paso del tiempo un aumento de la misma, lo que genera grandes dudas en la capacidad de producción y competencia en un futuro del pequeño productor.

(Proctor, Revista Claridades Agropecuarias., 2013)

La calidad de la producción de cada agricultor depende de la calidad del suelo, el acceso al agua, infraestructura, cercanía a mercados, tipo y valor de cultivo, técnicas de cultivo, entre las más importantes. Es por ello que se hace necesario recurrir a la búsqueda de nuevas técnicas agrícolas para mejorar la productividad, aplicables al pequeño productor. En ese sentido, un área alternativa de estudio a nivel mundial en una etapa incipiente, para favorecer la optimización de la productividad, puede ser abordado desde el campo de la acústica y la composición sonora musical, tomando elementos naturales del entorno propio de la planta en estudio y de esta manera tener una alternativa más para el fortalecimiento de la agricultura y la seguridad alimentaria.

### Justificación

Investigaciones previas han demostrado que las frecuencias sonoras influyen en las plantas, sin embargo han sido insuficientes. El presente trabajo pretende sumar evidencias que fortalezcan esta teoría desde la perspectiva de mejorar el crecimiento de la planta. Es por ello que se propone la exposición de la lechuga romana a ciertas frecuencias sonoro-musicales creadas a partir del análisis de

frecuencias reales emitidas por la planta para así optimizar su crecimiento y contemplar esta técnica alternativa como una posibilidad viable para la producción en pequeños espacios en beneficio de los productores.

Pregunta de investigación

¿La exposición de la lechuga romana a un estímulo sonoro musical creado a partir de sus propias vibraciones durante el crecimiento de la raíz eficientiza su periodo de crecimiento?

Hipótesis cierta

Si la lechuga romana se estimula por medio de una composición sonoro musical creada a partir de sus propias vibraciones durante el crecimiento de la raíz entonces el periodo de crecimiento de la lechuga se optimiza.

Hipótesis nula

Si la lechuga romana se estimula por medio de una composición sonoro musical creada a partir de sus propias vibraciones durante el crecimiento de la raíz entonces el periodo de crecimiento de la lechuga no se eficientiza.

Objetivo

Crear una composición específica a partir de frecuencias que las raíces de la lechuga romana emiten durante su crecimiento para eficientar el periodo de desarrollo a través de la exposición de nuevas plantas a dicho material sonoro creado.

Metodología

Se usó la metodología aplicada, cuantitativa, estadística y descriptiva para el buen desarrollo de la investigación

## Viabilidad

Esta investigación es viable, porque cuenta con el equipo, espacio, apoyo y asesoría necesaria para su desarrollo.

## Pertinente

Esta investigación es pertinente, puesto que no existe impedimento legal, no necesita de permisos especiales, no se pone en peligro la salud del ser humano. La realización de la parte experimental del presente proyecto considera de forma prioritaria la protección e integridad de los recursos vivos a utilizar. No se requiere de la manipulación directa con la planta para obtener los elementos necesarios en ninguna de las fases ya que será de forma subterránea en la primera etapa y aérea en la segunda. Una vez cosechado se realizaron análisis bromatológicos (único momento de manipulación directa).

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

Estudios e investigaciones alrededor del mundo han abordado los efectos que la música tiene sobre el ser humano y los animales.

Durante las últimas décadas se han llevado a cabo varios experimentos para demostrar que las plantas también responden al estímulo sonoro. Es por ello que la búsqueda de bibliografía sobre este tema se ha convertido en un gran reto ya que es un tema que está en desarrollo a nivel mundial.

Dentro del registro de los primeros experimentos para ver la reacción de las plantas al estímulo sonoro, se encuentra Charles Darwin, quien se sentó frente a su “Mimosa Pudica” a tocar el fagot, teniendo como objetivo el movimiento de sus hojas a partir del estímulo sonoro, lo cual tuvo un resultado negativo. Sin embargo este antecedente fue impulsor para nuevas investigaciones. (Tompkins & Bird , 2016)

Una de las investigaciones en las que Darwin influenció fue la del Dr. T. C. Singh, director del departamento de botánica de la Universidad de Annmalai, quien en 1950 estudiaba la corriente vital el protoplasma de las células de la Hydrilla Verticillata y sus efectos del sonido en su proceso. El Dr. Singh colocó un diapasón eléctrico a 2 metros de la Hydrilla, observó que al transmitir la nota del diapasón durante media hora antes de las 6am, hacía que la corriente del protoplasma se normalizara durante el día. Así mismo hizo uso de su conocimiento del Raga<sup>1</sup> para exponer la Hhydrilla al Maya-malava-gaula raga, a los 15 días de exposición tuvo como resultado el aumento de un 66% más alto en el número de estomas en relación a las plantas no expuestas, también notó que los muros epidérmicos eran más espesos y las células de su parénquimas terminales eran más largas y anchas hasta un 50% más que las plantas control.

---

<sup>1</sup> Forma tradicional de canción devota del sur de la India.

Viendo el éxito obtenido con los Ragas, pidió que se le tocara durante 25 minutos a algunos árboles del bálsamo el raga “Kara-hara-priya”, Gouri Kumari interpretó el raga con un veena<sup>2</sup>, hacia la 5ta semana los árboles afectados empezaron a tener mayor número de brotes, al final tuvieron un 72% más hojas y un crecimiento de un 20% más en comparación con el grupo control. (Tompkins & Bird , 2016)

Para 1960 George F. Smith, botánico e investigador agrícola de Normal Illinois, experimentó con maíz y soya dentro de invernaderos idénticos con la misma humedad y temperatura. Dentro de uno de los invernaderos colocó una bocina en dirección a las plantas y reprodujo Rhapsody in Blue de George Gershwin durante 24 horas, teniendo como resultado brotes anticipados y plantas su tallo más grueso y verde, también las plantas de maíz afectadas pesaban 40 gramos y las del grupo control 28 gramos. La soya tenía un peso de 31 gramos contra 25 del grupo control. Smith en 1962 sembró 4 parcelas del mismo maíz “Embryo 44XE” y de “Embryo Departure” cada parcela tuvo diferente tratamiento, la 1ra la trató con Rhapsody in Blue, la 2da quedó en silencio, la 3ra con una sola nota continua a 1800Hz y la 4ta con una nota a 450Hz. Tuvo como resultado para la 1er parcela una producción de 186 fanegas<sup>3</sup> por acre<sup>4</sup>, la 2da parcela su producción fue de 171. La 3er parcela su producción llegó a 198 y la 4ta pasaron de los 200. (Tompkins & Bird , 2016)

A mediados de la década de 1960 influenciados por las investigaciones de Singh y Smith, Mary Measures y Pearl Weinbergr, querían saber si algunas de las frecuencias audibles para el ser humano podían eficientar el crecimiento del trigo. Experimentos que duraron 4 años, expusieron vibraciones de alta frecuencia a granos y semilleros de primavera e invierno, se dieron cuenta que dependiendo del tiempo de exposición respondían mejor a la frecuencia de 5000Hz. teniendo como consecuencia una doble cosecha.

---

<sup>2</sup> Instrumento en forma de laúd de siete cuerdas, asociado con Sarwati.

<sup>3</sup> La Fanega es igual a .352hl.

<sup>4</sup> El acre equivale a .405ha.

Dentro de sus experimentos que fueron corroborados por científicos de la Universidad de Carolina del Norte, se dieron cuenta que el nabo crece más rápido al ser expuesto al sonido experimental “rosa”.

Los experimentos de ambas biólogas despertaron el interés del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, según el profesor Gaylord T. Hageseth, físico y director del equipo de investigación de los experimentos de Measures y Weinberg. Y dentro de las investigaciones en conjunto concluyeron que el ritmo de germinación de los nabos se acelera al ser expuestos a una frecuencia de 4000Hz. (Tompkins & Bird , 2016)

Inspirada por los trabajos de Smith, Dorothy Retallack en los 70's realizó una serie de experimentos en los cuales en una habitación puso varias plantas y les reprodujo música para ver qué efectos tenía la música en las plantas. El primero de sus experimentos en conjunto con una de sus compañeras, fue colocar en una habitación plantas como filodendros, maíz, rábanos, geranios y violetas africanas, colocaron lámparas Gro-Lux y hacían sonar cada segundo las notas si y re tocadas al piano y grabadas en una cinta magnetofónica, alternando las notas con 5 segundos de silencio durante 12 horas al día. Al cabo de 3 semanas las únicas plantas que habían sobrevivido fueron las violetas africanas.

Después de este experimento, Dorothy solicitó la ayuda de su maestro de Biología, Francis F. Broman, el cual puso a su disposición 3 cámaras biotrónicas ambientales Mark III, de 17 metros de largo, 8 de alto y 5.5 de profundidad, donde se pudo tener control sobre la luz, humedad y temperatura. Para este experimento utilizó las mismas plantas excepto las violetas africanas, la 1ra cámara fue para el grupo control, en la 2da se reprodujo la nota de fa durante 8 horas y durante 3 horas en la 3ra. Las plantas de la 2da cámara murieron a las 2 semanas, mientras que las de la 3er cámara se desarrollaron más sanas que las del grupo control.

En otro de sus experimentos usó música de Johann S. Bach y los compases del sitar<sup>5</sup>. Las plantas reaccionaron de forma positiva a la música de Bach, teniendo una inclinación de 35° hacia el altavoz, pero su reacción fue mayor con la música sitar, teniendo una inclinación de 60° a la bocina.

Dorothy Retallack hizo aún más experimentos con música jazz, pop, rock, etc. (Tompkins & Bird , 2016)

Por otro lado, Sternheimer (2002), se dedicó a estudiar la frecuencia de vibración de los aminoácidos, siendo parte importante para la creación de proteínas de las plantas. Hizo medición individual de frecuencias como si fueran notas, permitiendo el registro de las mismas como melodías y al tocarlas se manifestó un aumento de proteína y se aceleró el crecimiento de la planta. Sternheimer experimentó con tomates y crecieron dos veces y media más grandes cuando las melodías fueron tocadas para las plantas. (Rexresearch, s.f.)

Así mismo, Uchida y Yamamoto (2002) descubrieron que la germinación de la *Arabidopsis thaliana* se vio favorecida al ser expuesta a frecuencias de 100 Hz durante 48 horas, en comparación con las semillas que no fueron expuestas a la vibración. (Uchida & Yamamoto T., 2002)

En años posteriores Ekici (2007), realiza un estudio llamado “El efecto de los diferentes elementos musicales en el crecimiento de la raíz y la mitosis en la cebolla (*Allium cepa*) Meristema apical de la raíz (Estudio Experimental Biológico y musical)”, donde se concluyó que las cebollas crecieron mejor al ser expuestas a fragmentos con letras rítmicas y dinámicamente cambiantes con intervalos de quinta, séptima y octava en comparación con el grupo que fue expuesto a música clásica compleja, con intervalos de segunda y cuarta. (Ekici) CITA

El objetivo del trabajo del que se extrae el presente artículo consistió en evaluar el efecto que dos tipos de música (instrumental y rock) tienen sobre las

---

<sup>5</sup> Versión Hindú menos complicada del veena del sur de la India.

propiedades agronómicas en un grupo de plantas de Maíz (*Zea mays* L) escogidas como unidad de análisis, para lo cual las plantas fueron evaluadas en tres dimensiones: vegetal, edáfica y musical. El experimento consistió en la siembra de las semillas en bolsas plásticas conteniendo 2kg de suelo y evaluar el desarrollo de las plantas, durante cuatro meses, con nueve semanas de mediciones, aplicando riego y música. Los resultados analizados para la dimensión musical indicaron que los dos tipos de música aplicados influyen positivamente en el crecimiento de las plantas, respecto al grupo de plantas control; y que las plantas sometidas al tipo de música instrumental alcanzaron su desarrollo en menor tiempo. (Hernández G., y otros, 2010)

Por otro lado “*Sound Frequencies Induce Drought Tolerance In Rice Plant*”; es un experimento que demuestra la ayuda del sonido a la planta de arroz a generar resistencia a la sequía al ser expuesta a una frecuencia mayor o igual a 0.8 kHz. (Jeon, y otros, 2013)

Otra investigación se llevó a cabo con Chivukula y Ramaswamy (2014), quienes trabajaron con treinta plantas de Rosa china divididas en cinco grupos donde cada grupo fue expuesto a diferente tipo de música; música clásica de la india, Vedic Chants, música clásica occidental y rock, dejando un grupo control. Midió la elongación de la semilla y de los entrenudos, el número de floración y el diámetro de las flores durante un periodo de sesenta días. Tuvieron como resultado que las rosas expuestas al Vedic Chants mostraron mayor número de flores, mayor crecimiento de la semilla, y mayor diámetro de las flores. La música clásica de India mostró mayor crecimiento en los entrenudos. Siendo ambos estilos musicales que promueven el crecimiento de las rosas en comparación a los estilos restantes. (Chivukula & Ramaswamy, 2014)

Chowdhury and Gupta (2015), llevaron a cabo un experimento piloto para observar la respuesta de planta de la Caléndula a la música light Indian y a la música de meditación, así como al ruido. También a la respuesta del garbanzo en

su germinación con la música light Indian. Afirmaron que las frecuencias de audio en forma de música facilitaron la germinación y el crecimiento sin importar el género musical y se observó que el ruido tiene un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas. (Chowdhury & Gupta, 2015)

En el caso “Sonic Bloom”, un experimento realizado por Carlson (2016) en los setentas se basó en las frecuencias del canto de los pájaros, grillos y otros sonidos de la naturaleza, donde se expuso a las plantas a estos sonidos grabados en un disco compacto. En otro acercamiento descubrió una fórmula de nutrientes hecha a base de plantas orgánicas que aplicada a la planta mejora su crecimiento al exponerse al mismo tiempo que la música. En la actualidad el “Sonic Bloom” se encuentra a la venta para agricultores mayoristas, quienes reportan sus evidencias recientemente en el 2016. (Carlson, s.f.)

## CAPÍTULO III MARCO CONCEPTUAL

Palabras clave: acústica, composición, lechuga romana, optimización de cultivos.

Para favorecer la comprensión de la presente investigación se considera pertinente dar a conocer la descripción de los conceptos disciplinarios específicos como lo son la física acústica y la biología de la lechuga romana.

### Características del Sonido

Se consideran cualidades del sonido: frecuencia, duración, timbre e intensidad.

**Frecuencia:** El número de ciclos por segundo, llamado Hertz, a mayor número de repeticiones se generan frecuencias más agudas y a menor número de ciclos por segundo se generan frecuencias graves y entre estos se generan frecuencias medias. Todo cuerpo tiene una frecuencia natural característica y cuando se emite un sonido que coincida con la frecuencia natural del objeto este vibrará sin la necesidad de que se toque (resonancia).

**Duración:** Es la prolongación de un sonido en el tiempo, desde su inicio hasta el fin de un sonido.

**Timbre:** Es el resultado de la combinación de armónicos producidos por una fuente sonora, lo cual permite identificarla y diferenciarla respecto a otras fuentes. Por ejemplo, permite diferenciar una guitarra de un piano aun que emitan la misma nota. (Laura, 2016)

**Intensidad:** Depende de la amplitud de la vibración, siendo la potencia acústica y ayuda a percibir la fuerza de un sonido (volumen) y su medición es por medio de Decibeles (dB). (Chile, 2013)

## Lechuga

La lechuga se ha convertido en una hortaliza básica en la gastronomía a nivel mundial. Es originaria de Europa y en 343 a.C. y 356 a.C. Hipócrates y Aristóteles respectivamente hicieron su descripción como un vegetal cultivado, para 1494 fue cultivada en el nuevo mundo.

Descripción botánica: La lechuga *-Lactuca sativa-* pertenece a la familia *Compositae* -Compuestas, considerada la familia más grande de las angiospermas, con casi 1000 géneros y tal vez tantas como 20 000 especies. La familia deriva su nombre de las cabezuelas compactas que semejan flores individuales, pero que en realidad es una flor compuesta.

Clima: La lechuga presenta su mejor desarrollo con temperaturas entre los 15 y 18 °C y aunque la germinación puede iniciar hasta un mínimo de 5°C, el óptimo se presenta entre los 16 y 20°C. Las plántulas son tolerantes a bajas temperaturas, entre -5 y -7°C.

Varietades: En México se conocen los tipos de lechugas romana y larga u orejona, dentro de éstas tenemos diferentes variedades como son Cool Guard, Clímax, Marksman, Sedona, Salinas 88, 118 Asgrow, Bounty, 407, Warrior, Magnum, Salinas 128 y Del rey dentro de las romanas, y Parris Island Cos de las orejonas, cada una de éstas corresponde a una temporada de siembra, ya sea en verano o en invierno y para cada zona de producción. (Olvera González , y otros). La lechuga romana es una variedad con tronco ancho, alargado y erguido. Sus hojas son de color verde oscuro y se agrupan de forma poco apretada alrededor de un tronco, sin formar un verdadero cogollo.

El presente proyecto está dirigido a la variedad de lechuga romana *Lactuca sativa* *Var romaine* (platinum Geneva sedes). (Eroski, s.f.)  
. (Germán, s.f.)

En 2017 México produjo 466.8 mil toneladas, en 22 entidades un 6.1% más que en 2016. (Pesquera, 2018)

## Marco Histórico

Dentro de la investigación en el tema que relaciona al efecto de la música sobre las plantas, varios son los investigadores que han elaborado experimentos para poder dar una respuesta a este peculiar fenómeno. Se tomó como referencia los siguientes tres autores y sus publicaciones más sobresalientes, ligadas a la investigación en curso:



1970

Dorothy Retallack

- The Soun of Music and Plants
- The secret power of music: How music affectsyou and your plants.



2002

Joel Sternheimer

- Method of the Regulation of Protein Biosynthesis
- Guitar-type Stringed Instrument for the Acoustic Modelling of Elementary Particles

Imagen 2.1 Dorothy Retallack

imagen 2.2 Joel Sternheimer

Las investigaciones del Dr. T. C. Singh, Dorothy Retallack y Joel Sternheimer se tomaron como referencia para la actual investgación. Sin embargo en esta sección se mencionarán los trabajos de Retallacck y de Sternheimer ya que no hay más bibliografía respecto al Dr. T. C. Sing además de la ya mencionada en el Marco Teórico.

Dorothy Retallack, mezzosoprano y organista que entre 1947 y 1952 dio conciertos en el Beacon Super Club de Denver. Se matriculó en el Temple Buell College para obtener un título de música, donde sobresalió en 1973 con la publicación de su libro “The Sound of Music and Plants” donde explica sus experimentos en el Colorado Woman’s College de Denver. (Tompkins & Bird , 2016)

Los conocimientos que dejó Retallack sobre el tiempo de exposición de música a la planta para obtener un mejor resultado son de suma importancia para la presente investigación

Por otro lado Joel Sternheimer músico y físico francés descubrió el mecanismo de respuesta de las plantas a la estimulación sonora, creó melodías con una secuencia de notas perfectamente planeada para optimizar el crecimiento de las plantas. Sternheimer tradujo en vibraciones audibles de la música de las vibraciones cuánticas que suceden a nivel molecular al ensamblarse una proteína a partir de sus aminoácidos constituyentes, hizo uso de física simple para la composición musical. Cada nota musical que compone es un múltiplo de las frecuencias originales al crearse la cadena de proteínas. Él afirmó que al tocar las notas correctas las plantas se estimulan y aumentan su crecimiento. (Rexresearch, s.f.)

Es por esto que Sternheimer se convierte en parte fundamental de esta investigación ya que se pretende obtener el tipo de frecuencia emitido por el crecimiento de las raíces y traducirlas en música para después exponerla y eficientar el rendimiento de la lechuga romana.

Las investigaciones del Dr. T. C. Singh dejan como fundamento para ésta investigación la hora y tiempo de estímulo a las plantas comparada con las de Retallack y así poder establecer el tiempo de estímulo a la lechuga romana.

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

Se usaron las metodologías aplicada, cuantitativa, estadística y descriptiva para el buen desarrollo de la investigación, misma que se llevó a cabo en el Campus Amazcala de la UAQ, en el invernadero de lechugas tipo macro túnel de 8m x 9m con techo de plástico difuso con 30% de sombra de 700 galgas y paredes malla antiáfido color blanca de 10x16 hilos por centímetro cuadrado (hpsc) o bien hilos por pulgada cuadrada (hppc), por un periodo de 2 años

La población que se tomó fue la lechuga romana *platinum Geneva seeds*.

El cultivo de la lechuga tiene una duración promedio de 31 semanas que se divide en 6 etapas:

1. Emergencia de hojas: durante las primeras dos semanas se lleva a cabo el cuidado en semillero.
2. Desarrollo de las hojas de la semana 3 a la 14: en la semana 4 se lleva a cabo el trasplante a suelo. Actividades: riego, deshierbes y control de plagas y enfermedades. Para las semanas 12, 13 y 14 se lleva a cabo la cosecha.
3. Elongación del tallo floral: durante 5 semanas se lleva a cabo el riego, el deshierbe y el control de plagas y enfermedades.
4. Floración: semanas 20 y 21.
5. Maduración de la semilla: semanas 22 a 24.
6. Semilla madura: De la semana 25 a la 31.

Las plagas que atacan a la lechuga son la mosca blanca, el pulgón durante todo el ciclo de cultivo, y los *trips*<sup>6</sup> a partir de la semana 15.

---

<sup>6</sup> Insectos plaga. Pertenecen al orden *Thysanoptera*, poseen alas en su fase adulta y su longitud promedio de 1.3mm. (Seminis, 2017)

La densidad de siembra es de 11 a 13 plantas/m<sup>2</sup>. El consumo de agua durante todo el ciclo de cultivo es aproximadamente de 37.5 litros. (López López, Magaña Lira , & Vázquez Romero, 2014)

Para la primera etapa del experimento se tomó un grupo de 10 plantas para obtener la muestra del rango de frecuencias emitidas durante el crecimiento de las raíces de la lechuga romana.

La selección de esta planta se debió a su fácil manejo de cultivo y a su corto periodo de cosecha, lo cual permite tener un mejor manejo y control del experimento.

## Material para experimentación

- Material para cultivo:
  - Sustrato para plántula: 50% Peatmoss y 50% vermilita
  - Sustrato para planta adulta: Tezontle
  - Semilla de lechuga romana, platinum de Geneva seed
  - Sistema de riego: por goteo por cintilla de polietileno de alta densidad con goteros cada 20cm, calibre 8000 con un flujo de 2 l/hora
  - 10 macetas de 8.5" de diámetro
  - 10 macetas de 5.5" de diámetro
  - 2 semilleros de 38 piezas
  - Invernadero
  - Cámara de germinación
  
- Equipo para creación y reproducción de la obra musical:
  - Computadora
  - Programa Cubase 5
  - Bocina Koss modelo BTS1
  - Aplicación Alarm Clock Xtreme versión 6.1.2
  - Celular Motorola xt 914 /Tableta<sup>7</sup> Samsung Galaxy A6
  - Extensión de 20 metros.
  - Caja de madera
  - Tablas de madera
  - Temporizador Volteck TEM-8
  - Interfaz de audio
  - Programa Sound Force 10

---

<sup>7</sup> Para la reproducción de los archivos de audio se ocupó en primera instancia el celular y debido a una avería en el mismo se substituyó por la tableta

- Equipo para el registro del fenómeno vibratorio subterráneo de la planta:
  - 1pza CPU 1214C (14 DI 24V DC; 10 O 24V DC; 2 AL) PS 24V DC, Siemens 6ES7214-1AG40-OXB0
  - 1pza Alimentación PM1207, 120/230 V AC, salida:24 V DC, Siemens 6EP1332
  - 1pza Entrada Analógica 4 AI; 13 bits, Siemens 6ES7231-4HD32-OXB0
  - 1pza Entrada Analógica 8 AI; 13 bits, Siemens 6ES7231-4HD32-OXB0
  - 1pza Memory Card, 24Mb, Siemens 6ES7954-8LF03-0AA0
  - 1pza Placa Fenólica de 10 x 10 cm, Steren MC100
  - 100pzcas Clemas de Control, Phoenix Contact 3044076
  - 10 pzas, Terminal chica con 3 tornillos, para circuito impreso, Steren TRT-03
  - 2pzcas Hojas de transferencias para circuitos impresos, Steren PNP-010
  - 2pzcas Base para circuito integrado e 14 patas, Steren IC14
  - 10 pzas Capacitor cerámico de disco, de 0.001UF (Micro Faradios) a 500Volts, Steren C.001-500 S
  - 10 pzas Capacitor Electrólítico Radial, de 100UF (Micro Faradios) a 25 volts, Steren E100-25R
  - 4 pzas, Circuito Integrado TTL de 6 inversores 4 pzas SN74LS04N
  - 30m, Cable estaño para conexiones, color rojo, calibre 22AWG C22R-100
  - 30m Cable estañado para conexiones, color negro, calibre 22 AWG C22N-100
  - 1 pza Simantic Step 7 Basic 15 (package) Siemens 6ES7822-0AA05-0YA5
  - 1 PLC S7-1200 CPU 1214 DC/DC/DC Marca Siemens, modelo 6ED1052-1CC01-0BA6



Imagen 4.1 Esquema General del equipo de medición. Funcionamiento general del equipo. 0= PLC 1=Módulo de entradas analógicas 2=Disparador Scmith. Fuente propia

Este equipo está conformado por los siguientes dispositivos:

- Fuente de poder: Dedicada a alimentar eléctricamente a todo nuestro sistema transformando corriente alterna de 110vca (VCA= volts de corriente alterna) a 24vcd (VCD= volts de corriente directa)
- PLC: CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE encargado del procesamiento y almacenamiento de las magnitudes eléctricas a medir, este equipo almacena los datos mediante una función llamada “data logger” y ésta información se deposita en una memoria extraíble en un formato de archivo llamado CSV (valores separados por comas) que es un archivo compatible con Excel y que puede ser graficado con fines estadísticos para la elaboración de “tendencias e historiales”
- Módulo de entradas analógicas: modulo que se encargara de recibir la señal de nuestro sensor en la magnitud de tipo voltaje que es de 0 a 10 VCD este módulo hace la conversión analógico-digital de nuestra señal para que pueda ser interpretada por nuestro PLC

- Disparador Scmith: circuito integrado comparador especializado para prevenir el ruido que podría ocasionar una señal que no está completamente limpia y que inclusive puede ser usada para amplificar una señal eléctrica mínima, la cantidad de veces requerida por medio de amplificadores operacionales
- Data logger: Es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente uno de los principales beneficios del uso de registradores de datos es la capacidad para recopilar automáticamente datos las 24 horas del día

Equipo amplificador.

- 1 Protoboard
- 2 integrado SN74HC14N
- 10 Capacitores cerámicos de 100pF
- 10 resistencias de 10K Ohms

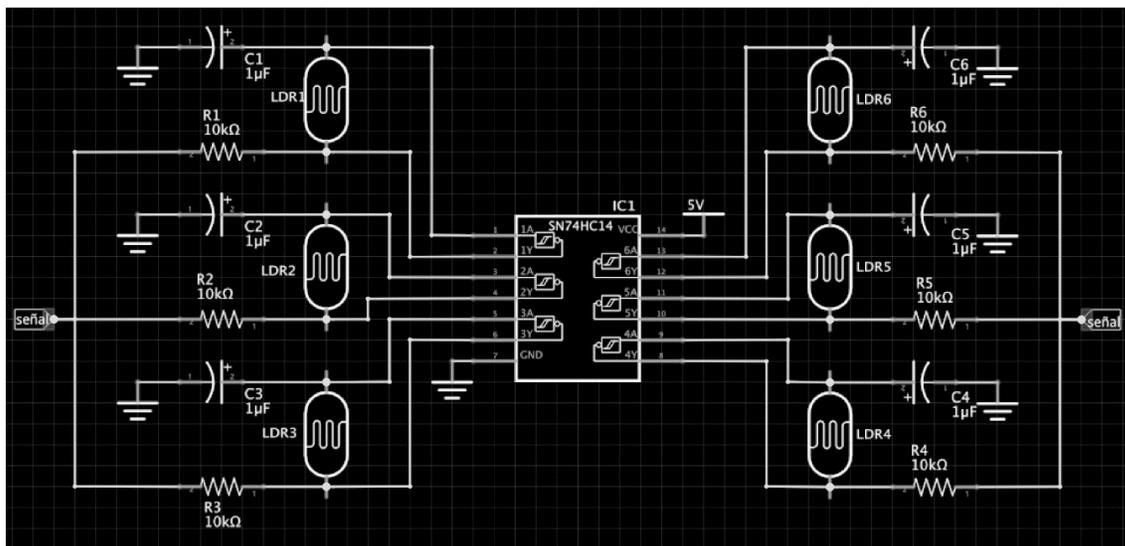


Imagen 4.2 fuente propia. Circuito integral, amplificador.

La función del circuito integrado es la amplificación del ruido que hay dentro de la maceta en el movimiento de las raíces, datos que se almacenan en el PLC.

## Desarrollo del experimento.

Para el buen desarrollo de la investigación se llevaron a cabo 7 etapas distintas.

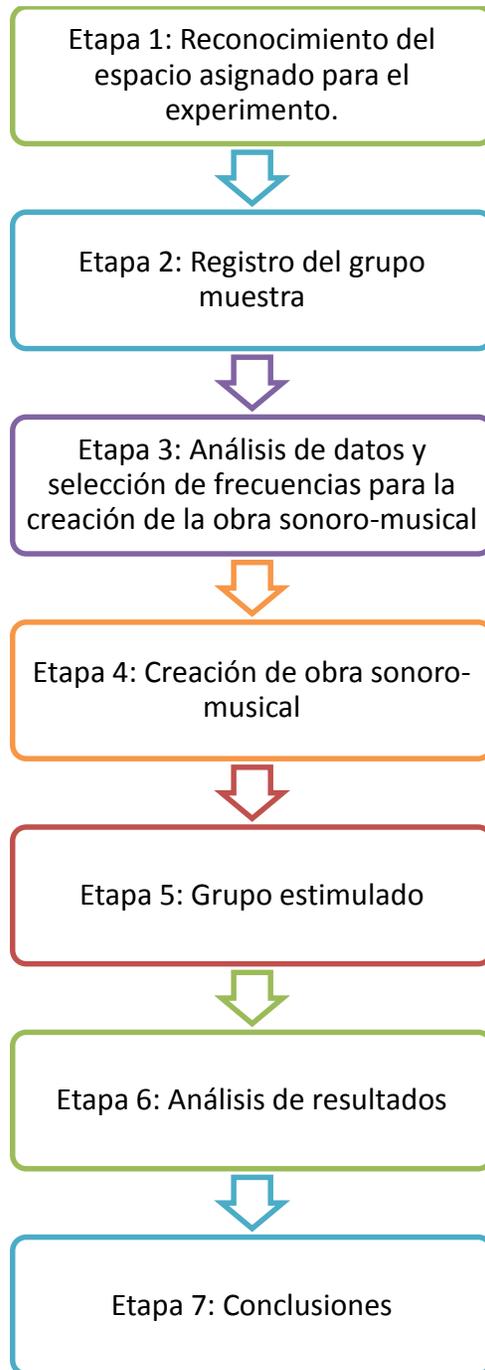


Imagen 4.3 Etapas de desarrollo de la investigación. Fuente propia.

## **Etapa 1**

Por medio del Dr. Gilberto Herrera, se concretó una cita con el Dr. Enrique Rico donde se presentó el proyecto para obtener el apoyo del uso de las instalaciones del Campus Amazcala, visita que se llevó a cabo con la M. en A. Laura Chávez Blanco y el I.T.A Michel Marín Gallegos, donde se aceptó el uso de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) en el Campus Amazcala, las cuales se visitaron el día 17 de julio de 2017, el Ing. Daniel Arriaga responsable de las instalaciones, explicó de forma detallada el funcionamiento del invernadero.



Imagen 4.4 Vista lateral derecho del invernadero asignado por el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.



Imágenes 4.5 Vista frontal Invernadero asignado por el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro. Fuente propia.



Imagen 4.6 Invernadero. Vista frontal interna del invernadero. La siembra que se muestra no corresponde a este experimento. Fuente propia

## **Etapa 2**

Se cultivó un grupo muestra de 12 plantas durante tres meses para poder obtener las mediciones de las frecuencias que emite la raíz durante su crecimiento.

### **Germinación**

Lugar: cámara de germinación

Fecha: 13 diciembre 2017

Materiales:

- 12 macetas de 5.5"
- Pitmus sunshine Mezcla 3, fina especial
- Vermiltila
- 12 Semillas Geneva Veetable seet, lechuga romana
- Agua

Se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Se preparó el sustrato 50% pitmus 50% vermilita, humedecido a capacidad de campo
2. Se llenó la maceta de 5.5" de diámetro
3. Se colocaron 2 semillas por maceta
4. Se ingresaron a la cámara de germinación a 20 °C con una humedad del 70%
5. Se regaron con 50 a 70 ml de agua y se taparon las macetas con una bolsa negra para evitar la pérdida de humedad en las macetas
6. Se cerró la cámara, sin luz
7. Se dejó germinar 2 días dentro de la cámara



Imagen 4.7 Semillas listas para germinación. Fuente propia.



Imagen 4.8 Macetas instaladas dentro de la cámara de germinación. Fuente propia.

## Instalación de Equipo

Lugar: Sala de preparación dentro de la cámara de germinación

Fecha: 15 diciembre 2017

Una vez germinadas las lechugas se pasaron a la sala de preparación y el primer paso a llevar a cabo fue la instalación del equipo de medición y recopilación de datos, realizada por medio de un circuito integral de amplificación directo al sustrato y conectado al PLC para almacenar la información en volts, generando 1 dato cada minuto 24/7 durante 13 semanas.



Imagen 4.9 Instalación de equipo de medición. Fuente propia

Una vez instalado el equipo, las lechugas fueron llevadas al invernadero el día 16 de diciembre 2017.

Imagen 4.10 Instalación de plántulas y equipo en el invernadero. Fuente propia.



Para la semana 9 las lechugas ya habían alcanzado tamaño para trasplante a una maceta de 8.5" y se llevó a cabo la instalación del riego por goteo, continuando así el registro de datos.



Imagen 4.11 Trasplante dentro del invernadero. Fuente propia.



Imagen 4.12 Instalación de riego por goteo. Fuente propia

Para la semana 13 las lechugas alcanzaron su tiempo de cosecha. Se realizó una visita semanal para la recolección de datos del PLC.

La buena realización de esta etapa fue de vital importancia debido a que se obtuvo el registro de los datos necesarios para la composición de la obra sonoro-musical. Dentro de esta etapa se encontraron circunstancias naturales que fueron inevitables como heladas que por fortuna no afectaron el cultivo y enfermedades que atacaron a 2 individuos una semana antes de su cosecha. Durante todo el ciclo el cultivo tuvo cuidados orgánicos de control de plaga. Antes de la instalación del riego por goteo se regaron manualmente por lo cual de la semana 1 a la 3 se realizó una visita diaria y de la semana 4-9 se realizó una semana cada tercer día para su riego.

Finalmente las lechugas se cosecharon de forma correcta logrando así una recolección de datos exitosa.

### **Etapa 3**

Análisis de datos, frecuencias y selección de frecuencias para la creación de obra sonoro-musical.

Los datos recopilados con una señal de 5 volts se ingresaron al PLC por medio de los canales analógicos, estos se vaciaron a una hoja de Excel en un archivo tipo .CSV. Los archivos se separaron por planta, arrojando un total de 10212 registros por semana. Después se generó una base de datos en el programa TIA Portal donde se guardaron todos los datos de Excel. Para cambiar la base de datos a audio se conectó una interfaz de audio al canal analógico del PLC reproduciendo todos los datos del programa TIA Portal al programa Sound Force 10. De esta forma los datos recopilados se cambiaron a formato audio para analizar las frecuencias registradas.

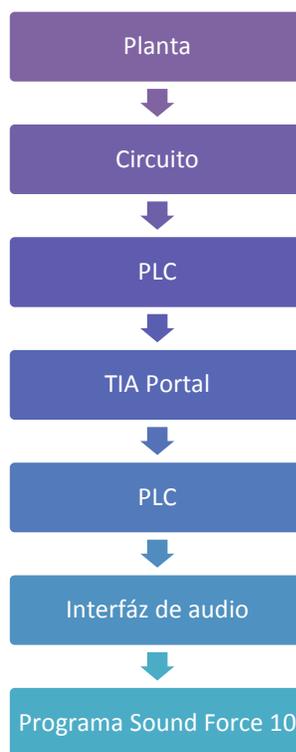


Imagen 4.13 Ciclo de adquisición de datos y cambio a formato audio

Cada audio se analizó por medio del programa Cubase 5, a través del siguiente proceso:

1. Se creó un proyecto nuevo
2. Se insertó un audio del material transformado con duración de 10 minutos
3. Se pasó a un ecualizador para eliminar el ruido
4. Una vez limpio el audio se hizo una selección de 2:30 minutos (equivalentes a un día de registro)
5. Se usó el ecualizador Q-clone stereo para hacer el análisis de las frecuencias por medio del *pick hold*
6. Se localizaron los puntos máximos y mínimos de frecuencias
7. Se vaciaron los datos en una tabla de Excel.
8. Del total de datos se seleccionaron las frecuencias de mayor repetición

Los pasos 1 al 8 se repitieron para cada uno de los 10 individuos sembrados<sup>8</sup>.



Imagen 4.14 Muestra del *Pick Hold* para el análisis de frecuencias.

<sup>8</sup> Se hizo el registro de datos de 10 plantas ya que era la capacidad del PLC.

ANÁLISIS de frecuencia por día - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Inicio sesión

Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Borrar

Insertar Eliminar Formato

Estilos Dar formato Estilos de condicional como tabla celda

General

Ajustar texto Combinar y centrar

Alineación Fuente

Portapapeles Fuente

Barra de fórmulas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
1																				
2																				
3	15/12/2017	1	22-13586	F0-G#9	F0	22	22-13586	F0-G#9	F0	22	22-13586	F0-G#9	F0	22	22	22	21	22	0	22
4			83	A#1	A#1	59			G1	50				50	83	83	2	59	7	50
5			91	C#2	C#2	70	1		C2	64				64	91	91	2	70	2	64
6			110	E#2	E#2	82			E2	81				81	110	110	1	82	4	81
7			170	F#2	F#2	91			F2	95				95	170	170	2	91	1	95
8			238	D#3	D#3	146			D3	156				156	238	238	1	146	1	156
9			262	E#3	E#3	161			E3	167				167	262	262	1	161	1	167
10			294	F#3	F#3	176			F3	181				181	294	294	4	176	1	181
11			381	G#3	G#3	191			G3	191				191	381	381	4	191	2	191
12			356	D#4	D#4	291			A3	224				224	356	356	5	291	3	224
13			501	B#4	B#4	318			B3	245				245	501	501	1	318	2	245
14			537	C#4	C#4	402			C4	265				265	537	537	4	402	2	265
15			699	A#4	A#4	440			D4	285				285	699	699	3	440	2	285
16			1175	A#4	A#4	460			D#4	316				316	1175	1175	8	460	2	316
17			1244	C#5	C#5	523			E4	334				334	1244	1244	1	523	1	334
18			2320	G#5	G#5	544			F#4	363				363	2320	2320	3	544	1	363
19			2489	D#5	D#5	588			A4	440				440	2489	2489	1	588	1	440
20			4404	C#8	C#8	699			F5	472				472	4404	4404	5	699	4	472
21			4733	D#8	D#8	779			G5	534				534	4733	4733	6	779	1	534
22			5837	F#8	F#8	836			D#5	592				592	5837	5837	1	836	1	592
23			6272	G#8	G#8	1175			D6	762				762	6272	6272	2	1175	1	762
24			7412	A#8	A#8	1286			E6	847				847	7412	7412	1	1286	1	847
25			8111	B#8	B#8	1937			E6	1093				1093	8111	8111	2	1937	4	1093

SEMANA 1 SEMANA 2 SEMANA 3 S1,2Y3 SEMANA 4 SEMANA 5 SEMANA 6 S4,5 Y6 ...

LISTO

Imagen 4.15 Ejemplo del vaciado de datos de frecuencias por semana y por planta.

Una vez recopiladas y analizadas las frecuencias con mayor número de repeticiones se procedió a la creación de la obra sonoro-musical.

Se realizaron 2 composiciones para el tratamiento ya que se tomó en cuenta que los individuos son seres vivos y como tal requieren de distintos elementos dependiendo su etapa de crecimiento.

Para la primera composición se tomaron 34 registros de frecuencias que van desde los 60 hasta los 13,586 Hz con una duración de 5 minutos (300 segundos). La duración de cada frecuencia fue correspondiente en segundos al tiempo de repetición en el análisis de datos. Por ejemplo, durante los 300 segundos se registraron 516 repeticiones de todas las frecuencias analizadas y la frecuencia 13,586 Hz se repitió 50 veces, entonces su duración dentro de la composición correspondió a 29 segundos.

60	70	91	176	191	285	294
320	356	537	541	544	588	592
600	626	1146	1175	1286	2305	2320
2563	4342	4373	4404	4699	4733	4768
4803	11175	11341	12710	2876	13586	

Tabla 4.1 Frecuencias en Hz usadas en la composición 1.

En la 2da composición se usaron 94 frecuencias desde 50 a 13586 Hz con una duración de 5 minutos, de igual forma que en la composición 1, la duración de cada frecuencia fue correspondiente en segundos al tiempo de repetición en el análisis de datos.

50	60	70	80	82	90	91	92	100	103
111	113	114	124	125	133	157	165	178	180
181	200	285	287	289	291	294	295	320	323
325	327	332	334	537	541	544	588	592	596
600	630	1146	1153	1160	1168	1175	1269	1286	1294
1302	1310	1319	1328	1338	2291	2305	2320	2334	2563
2582	2600	2619	2637	2654	2672	4279	4311	4342	4373
4404	4699	4733	4768	4803	4838	5052	5712	7569	7680
8320	10252	10326	10400	10474	10687	10966	11036	11105	11258
11341	12710	12876	13586						

Tabla 4.2 Frecuencias usadas en la composición 2.

Los criterios compositivos parten de las proporciones pitagóricas aplicadas a los intervalos musicales presentándose con mayor frecuencia y ajustadas lo más cercano a octavas (2:1), quintas (3:2) y terceras (5:4). (Maggiolo, s.f.).

Para la composición 1 lo primero que se tomó en cuenta fueron las frecuencias con mayor número de repeticiones durante la semana 1 a la 3: 13,586 Hz, 12,876 Hz y 12,710 Hz, estas tres frecuencias se colocaron dentro de los 5 minutos de la siguiente forma:

- Se colocó un segundo de estas frecuencias al inicio, al final, en la mitad y después por mitades hasta terminar con los segundos totales de cada frecuencia, teniendo un ligero desfase para evitar su empalme.



Imagen 4.16 Distribución de frecuencias agudas en la composición 1. Fuente propia.

El paso siguiente consistió en colocar las siguientes frecuencias en acordes, manteniendo en su mayoría las proporciones pitagóricas para formarlos, haciendo una mezcla de frecuencias graves con agudas y creando motivos que se repetirían durante los 5 minutos.

Así mismo también se usó el criterio de colocar a las frecuencias más cercanas como grados conjuntos para suavizar los cambios drásticos de frecuencias graves a agudas en la composición 1.

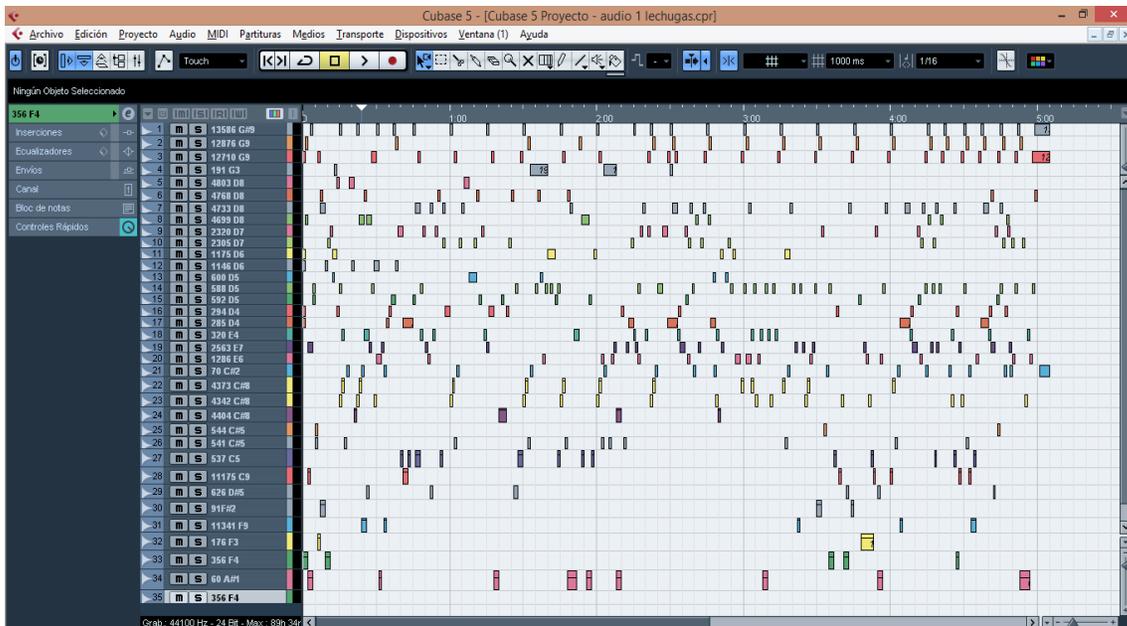


Imagen 4.17 Ejemplo de la distribución de las demás frecuencias. Fuente propia.

Para la composición 2 se aplicó el mismo criterio que en la composición 1 para las frecuencias con mayor tiempo de exposición de la semana 4 a la 13, siendo en este caso las frecuencias 13,586 Hz y 12,710 Hz. Para mantener el mismo orden que en la composición 1 se aplicó el mismo criterio con la frecuencia 12,876 Hz a pesar de que no se presentó tantas veces.

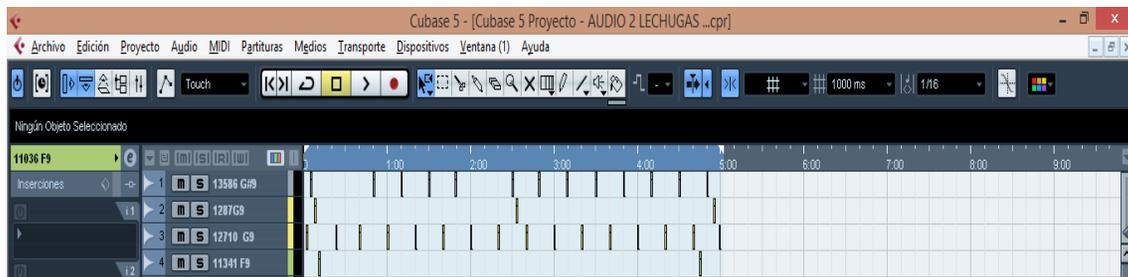


Imagen 4.18 Distribución de frecuencias agudas en la composición 2. Fuente propia.

Sin embargo el acomodo de las demás frecuencias fue distinto a la composición 1 ya que se tenía un mayor número de datos. En este caso se usaron las frecuencias para abarcar todos los 5 minutos, sin empalmar frecuencias, haciendo en cada segundo la aparición de una frecuencia nueva manteniendo las proporciones pitagóricas en su mayoría, por ejemplo: 11,258Hz (F9) 4,768Hz (D8) 111Hz (A2), teniendo ese orden de aparición durante 1 segundo cada una, se asemeja al arpegio de un acorde de Dm (D-F-A) utilizando diferentes alturas. Siguiendo este ejemplo se usaron todas las frecuencias durante los 300 segundos, siempre tomando en cuenta la relación de segundos con el número de repeticiones en el análisis de frecuencias.

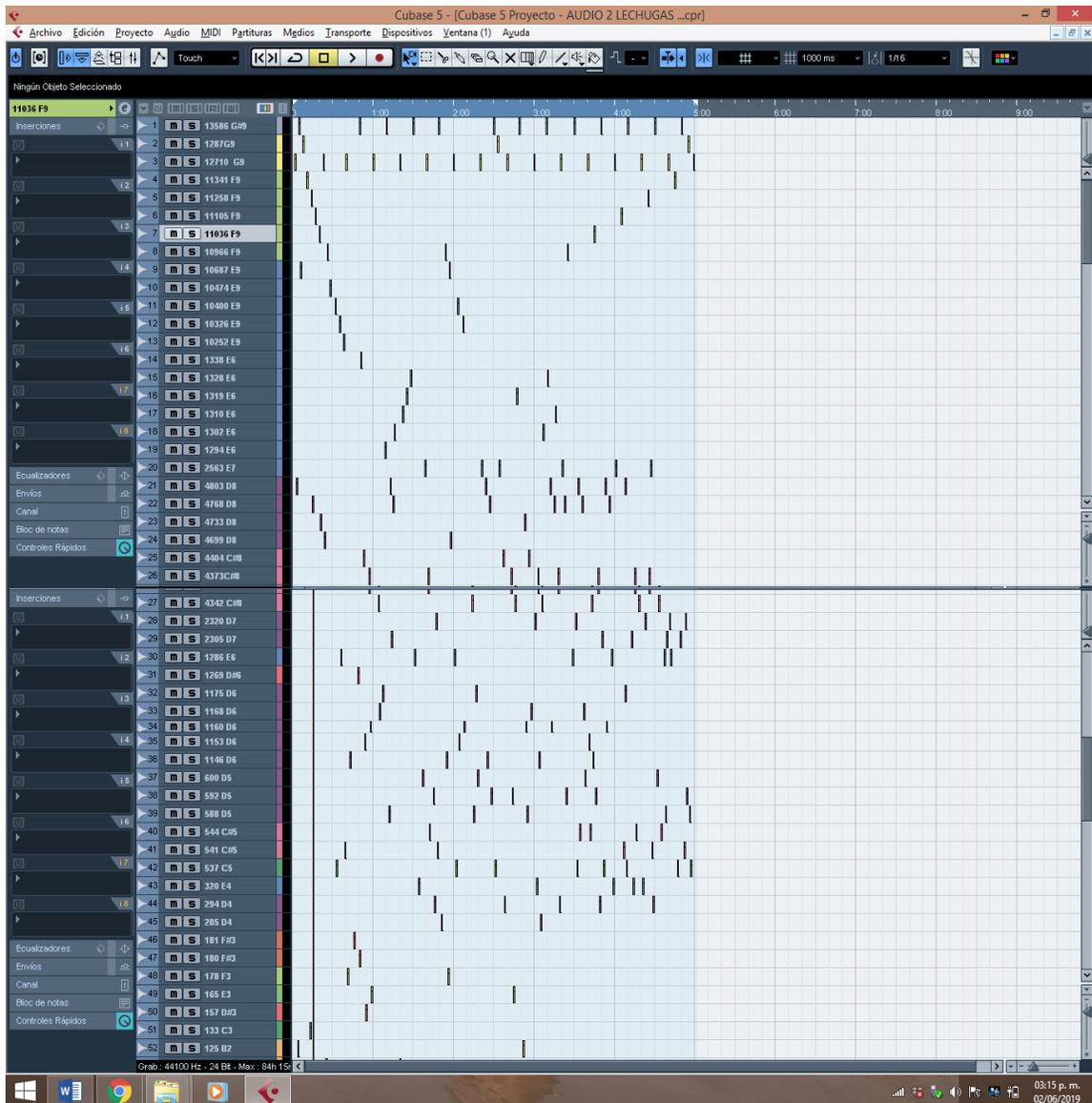


Imagen 4.19 Acomodo de frecuencias en la composición 2. Fuente propia

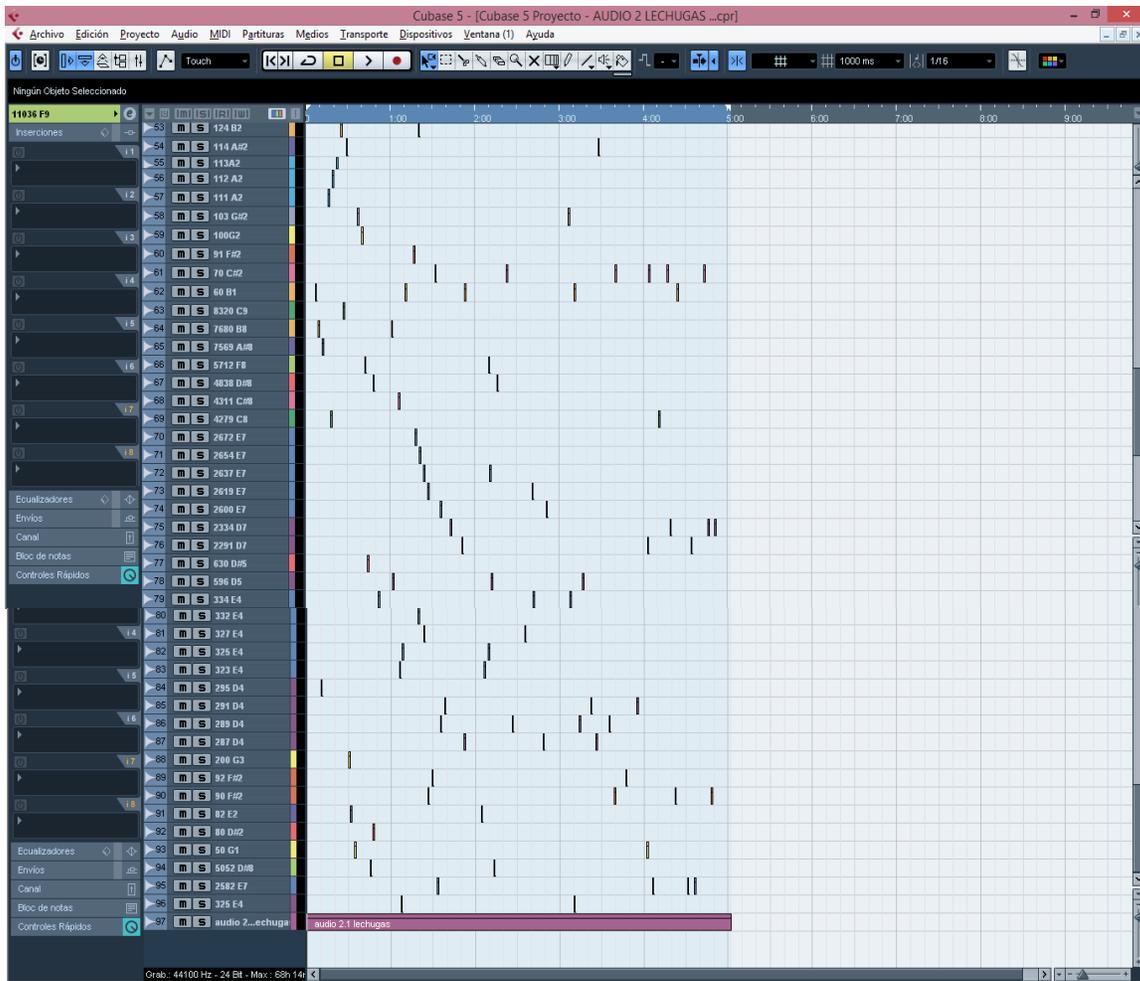


Imagen 4.20 Acomodo de las frecuencias en la composición 2. Fuente propia.

Esta etapa fue de un arduo y meticuloso trabajo el cual tuvo una duración de 10 meses, pasando por el proceso de conversión de los datos a audio, análisis de frecuencias de audio, análisis y selección de frecuencias para determinar las de mayor número de repeticiones (haciendo estos pasos con todas las lechugas registradas), que posteriormente se usaron para la composición de las obras sonoro-musical 1 y 2.

## **Etapas 5**

### Aplicación de tratamiento

Esta etapa se empezó el 14 de diciembre, 2018, coincidiendo en fechas con la cosecha anterior, donde se hizo el registro y almacenamiento de datos del grupo muestra. Se hizo de esta manera para tener las mismas condiciones climáticas y minimizar las variables a controlar.

El equipo que se usó fue el mencionado en este mismo capítulo en el apartado de recursos materiales

Se pusieron a germinar 36 semillas de lechuga romana *Platinum Geneva Vegetable Seed*. En esta ocasión no se usó la cámara de germinación ya que ésta no se encontraba disponible para su uso. Durante el periodo de plántula se regó a mano cada tercer día. Debido a las heladas se retrasó el brote de las semillas, teniendo brotes en diferentes fechas. Los primeros se dieron el 22 de diciembre teniendo 8 días a partir del día de siembra, dándose el último brote el 2 de enero, 2019 (individuo #32 a los 20 días a partir del día de siembra).

El semillero se colocó dentro de una caja de madera para poder reforzar el tratamiento con el fenómeno de reflexión ayudando así a que las vibraciones corrieran a través de todas las lechugas.



Imagen 4.21 Muestra de la instalación del semillero dentro de la caja de madera. Fuente propia.

Una vez obtenido el mayor número de brotes se instaló el tratamiento el 29 de diciembre, 2018, cumpliendo 16 días a partir del día de siembra. Se aplicó el audio 1, programado para que se reprodujera en un horario de 06:00 a 18:00 horas en lapsos de 3 horas con duración de 5 minutos.

El 24 de enero, 2019, cumpliendo 6 semanas, se llevó a cabo el trasplante a suelo. Se aumentó el tiempo de tratamiento de 5 a 10 minutos y se instaló el riego por goteo.



Imagen 4.22 Trasplante a suelo. Fuente propia



Imagen 4.23 Lechugas recién trasplantadas e instalación de equipo.

Distribución final después de trasplante.

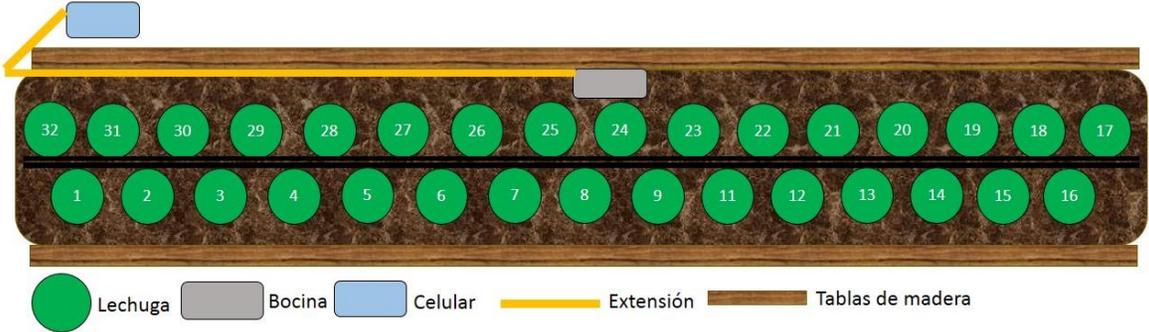


Imagen 4.24 Distribución gráfica después de trasplante



Imagen 4.25 Lechugas dentro del invernadero. Semana #9. Fuente propia.

En la semana 8 se cambió el tratamiento 1 por el tratamiento 2 (composición sonoro-musical 2) manteniendo el tratamiento en 10 minutos cada 3 horas. Para la semana 9 se aumentó el tiempo de exposición a 15 minutos cada 3 horas. Así mismo se realizó un cambio de dispositivo del celular a la tableta por fallas en el celular. La Tablet quedó instalada por fuera de las maderas a la altura de las lechugas 31 y 32.

Para la medición del crecimiento de las lechugas, en primera instancia se marcó una hoja de cada lechuga para tener la medida de una misma hoja durante todo el ciclo, sin embargo esta hoja en un 90% de las lechugas no fue la más alta, es por esto que se optó por medir la altura máxima de la lechuga en lugar de la hoja marcada.

La bocina siempre se mantuvo en la parte central del cultivo, en etapa de plántula las lechugas 26, 27 y 28 recibían de forma directa el tratamiento y después del trasplante la bocina quedó frente a las lechugas 23, 24 y 25.



Imagen 4.26 Lugar de la bocina frente al semillero. Fuente propia



Imagen 4.27 Lugar de la bocina después de trasplante. Fuente propia.

La cosecha se llevó a cabo el día 14 de marzo cumpliendo 11 semanas, sin embargo la cosecha se pudo haber realizado en la semana 10 debido a que se observó que no hubo cambios significativos de la semana 10 a la 11.



Imagen 4.28 Lechugas con 11 semanas cumplidas. Día de cosecha. Fuente propia.

En la fase de germinación del grupo con tratamiento no hubo disponibilidad de la cámara de germinación por lo que se decidió realizar todo el proceso en invernadero, lo que favoreció la protección del cultivo en las heladas

Sin embargo en un principio las heladas se hicieron presentes lo cual lo cual retrasó los brotes de germinación de las lechugas.

## **Etapas 6**

### Análisis de resultados

Después de un análisis bibliográfico en el cual los experimentos documentados reportan diferentes horarios y tiempos de reproducción que van desde los 5 minutos hasta 48 horas de tratamiento con horarios como 5:30 am, 12:00 pm, y adicionalmente a que dentro de algunos antecedentes no se menciona el tiempo ni horario de tratamiento, se decidió empezar con un total de 25 minutos de exposición en etapa de plántula durante 4.5 semanas, repartidos en 5 minutos cada 3 horas; 50 minutos las primeras 2.5 semanas de trasplante, repartidos en 10 minutos cada 3 horas hasta llegar a 75 minutos de tratamiento total durante 4 semanas repartido en 15 minutos cada 3 horas. Se escogió que la reproducción fuera cada 3 horas de 6:00 a 18:00 horas para así estimular al individuo durante su proceso de fotosíntesis.

La composición 1 se mantuvo durante las primeras 6.5 semanas y la composición 2 se reprodujo 4.5 semanas.

Entre los cambios de etapa de plántula a trasplante se decidió mantener la composición 1 durante 6.5 semanas con la finalidad de no tener variables adicionales al cambio de hábitat y el aumento del tiempo de exposición de 5 a 10 minutos.

Las lechugas se cosecharon el 08 de marzo del 2019, cumpliendo 11 semanas.

El tiempo de cosecha de la lechuga romana de acuerdo con la SAGARPA es de 14 semanas **Fuente especificada no válida..** Sin embargo se hizo la comparación en tiempo de cosecha con la cosecha pasada en las mismas condiciones, la cual se cosechó en la semana 13. Las lechugas con tratamiento acústico se cosecharon en la semana 11, sin embargo a partir de la semana 10 se podía realizar la cosecha ya que el crecimiento en las siguientes 2 semanas fue mínimo y el 77.4% de las lechugas ya había alcanzado su crecimiento máximo.

Registro de crecimiento semanal de la lechuga romana con tratamiento sonoro-musical, los datos muestran su tamaño en cada semana.

P#: número de individuo

S#: número de semana

#: centímetros totales de crecimiento

#P	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
P1	1.0	1.8	4.5	8.5	11.0	11.5	14.9	18.0	21.5	24.4	27.0	27.0
P2	1.0	2.4	4.3	9.4	12.8	12.8	14.9	18.0	21.5	24.4	30.0	30.0
P3	1.0	2.2	4.0	8.5	12.5	12.8	14.0	17.0	21.0	26.0	30.5	30.5
P4	1.0	2.4	4.8	8.5	13.0	13.5	14.0	18.5	21.5	27.0	31.0	33.0
P5	1.0	1.8	3.8	7.8	12.8	13.8	15.8	18.5	21.4	25.7	29.3	29.3
P6	1.0	2.0	4.5	9.4	13.0	14.0	15.5	19.5	23	28.5	30.0	32.0
P7	1.0	1.2	4.0	6.0	12.1	13.3	16.1	18.5	22.5	26.8	30.0	30.0
P8	1.0	2.0	4.8	9.2	13.5	13.5	15.8	18.5	22.5	26.6	32.0	32.0
P9	1.4	2.0	4.3	8.7	13.8	14.3	16.4	20.4	24.5	25.5	34.0	34.0
P11	1.0	1.4	3.5	7.5	11.5	13.5	15.5	19.0	23.0	30.0	36.3	36.3
P12	1.0	1.8	4.5	8.5	11.8	12.7	15.0	19.9	23.0	30.0	33.0	33.0
P13	1.2	1.8	4.5	10.0	13.2	13.5	15.7	18.9	23.0	29.5	32.5	32.5
P14	1.0	2.0	4.8	9.9	14.0	14.5	15.6	19.3	23.0	27.5	31.0	31.0
P15	1.0	1.4	3.7	9.5	15.5	16.1	16.0	18.5	21.5	25.0	27.0	28.0

<b>P16</b>	1.0	2.0	4.5	9.5	12.5	15.0	16.6	19.7	22.2	25.5	30.0	30.0
<b>P17</b>	0.5	1.0	2.4	6.2	12.1	12.5	15.3	18.0	21.0	22.0	24.0	25.0
<b>P18</b>	1.2	2.2	4.2	9.5	13.1	13.4	14.9	19.8	24.5	32.0	35.0	35.0
<b>P19</b>	1.2	2.2	4.5	10.0	13.0	15.3	16.0	18.3	22.5	25.0	29.5	29.5
<b>P20</b>	1.0	2.3	4.8	10.0	14.0	14.1	15.5	18.0	21.0	26.5	32.0	32.0
<b>P21</b>	0.5	1.4	3.0	7.0	12.8	13.0	15.0	18.0	20.0	26.5	36.0	36.0
<b>P22</b>	0.8	1.2	3.0	7.1	12.2	13.0	16.0	20.0	25.5	29.0	35.0	35.0
<b>P23</b>	1.0	2.0	3.8	7.9	11.0	12.4	15.5	19.7	24.5	29.0	36.0	36.0
<b>P24</b>	1.0	2.0	4.5	9.0	13.0	13.0	16.5	21.55	24.7	31.5	35.0	35.0
<b>P25</b>	1.0	2.0	4.0	9.2	14.5	15.0	16.5	19.0	22.0	27.5	33.0	33.0
<b>P26</b>	1.0	2.0	4.0	9.2	14.5	15.0	16.5	19.0	22.0	27.5	34.0	34.0
<b>P27</b>	1.0	2.0	4.5	8.5	13.0	13.5	14.0	16.0	21.0	27.0	32.0	33.0
<b>P28</b>	0.8	1.5	3.6	7.5	12.0	12.5	15.0	17.0	21.0	23.6	29.0	29.0
<b>P29</b>	1.0	1.5	3.3	8.2	11.2	12	13.0	18.1	23.0	26.5	33.0	33.0
<b>P30</b>	0.7	1.0	3.5	8.2	11.0	11.5	11.9	17.2	21.0	29.5	32.8	32.8
<b>P31</b>	0.8	2.5	5.0	9.2	10.0	12.0	15.4	19.0	21.5	28.0	28.0	28.0
<b>P32</b>	0.0	0.5	1.5	3.6	8.3	9.5	12.8	15.8	19.0	22.5	28.0	30.0

Tabla 4.3 Crecimiento semanal en cm.

A continuación se muestra el análisis de resultados de crecimiento semanal con los individuos que crecieron el 100% o más a partir de la exposición al tratamiento sonoro-musical.

P#= Número de planta

S# =Número de Semana

#= Número de planta con un crecimiento mayor al 100%

%= Porcentaje del número de plantas que crecieron más del 100%

T1= Tratamiento 1

X5= 5 minutos de duración cada 3 horas de 6 a 18Hrs

X10= 10 minutos de duración cada 3 horas de 6 a 18 hrs

X15= 15 minutos de duración cada 3 horas de 6 a 18 hrs

valores que no se tomaron en cuenta para sacar la media de crecimiento semanal

media de crecimiento semanal

a)

<b>S1</b>	<b>30-dic-18 al 3-enero-19</b>		<b>16</b>	<b>51%</b>	<b>T1X5</b>	<b>119.17%</b>
Crecieron de un 100% a un 180% semanal						
<b>P2</b>	140	<b>P8</b>	100	<b>P20</b>	130	<b>P25</b> 100
<b>P3</b>	150	<b>P14</b>	100	<b>P21</b>	180	<b>P26</b> 100
<b>P4</b>	140	<b>P16</b>	100	<b>P23</b>	100	<b>P27</b> 100
<b>P6</b>	100	<b>P17</b>	100	<b>P24</b>	100	<b>P31</b> 166.67

b)

<b>S2</b>	<b>3 al 10 enero-19</b>	<b>31</b>	<b>100%</b>	<b>T1X5</b>	<b>301.88%</b>						
Crecieron de un 135.7% a un 1400% semanal											
<b>P1</b>	275	<b>P6</b>	250	<b>P12</b>	337.5	<b>P17</b>	280	<b>P22</b>	450	<b>P27</b>	250
<b>P2</b>	135.71	<b>P7</b>	1400	<b>P13</b>	450	<b>P18</b>	200	<b>P23</b>	180	<b>P28</b>	300
<b>P3</b>	250	<b>P8</b>	280	<b>P14</b>	280	<b>P19</b>	230	<b>P24</b>	250	<b>P29</b>	360
<b>P4</b>	171.43	<b>P9</b>	383.33	<b>P15</b>	575	<b>P20</b>	192.31	<b>P25</b>	200	<b>P30</b>	833.33
<b>P5</b>	250	<b>P11</b>	525	<b>P16</b>	250	<b>P21</b>	177.78	<b>P26</b>	200	<b>P31</b>	340
										<b>P32</b>	200

c)

<b>S3</b>	<b>10 al 17 enero-19</b>	<b>29</b>	<b>93%</b>	<b>T1X5</b>	<b>216.98%</b>				
Crecieron de un 147.06% a un 383.33% semanal									
<b>P1</b>	204.55	<b>P8</b>	157.14	<b>P14</b>	182.14	<b>P19</b>	239.13	<b>P24</b>	180
<b>P2</b>	268.42	<b>P9</b>	383.33	<b>P15</b>	252.17	<b>P20</b>	208	<b>P25</b>	260
<b>P4</b>	154.17	<b>P11</b>	190.48	<b>P16</b>	200	<b>P21</b>	250	<b>P26</b>	260
<b>P5</b>	200	<b>P12</b>	148.15	<b>P17</b>	271.43	<b>P22</b>	227.78	<b>P27</b>	160
<b>P6</b>	196	<b>P13</b>	203.7	<b>P18</b>	265	<b>P23</b>	227.78	<b>P28</b>	185.71
<b>P29</b>	272.22	<b>P30</b>	188	<b>P31</b>	147.06	<b>P32</b>	210		

d)

<b>S4</b>	<b>17 al 24 enero-19</b>	<b>18</b>	<b>58%</b>	<b>T1X5</b>	<b>151.54%</b>				
Crecieron de un 100% a un 305% semanal									
<b>P1</b>	204.55	<b>P7</b>	305	<b>P17</b>	155.26	<b>P25</b>	101.92	<b>P31</b>	168
<b>P4</b>	121.62	<b>P9</b>	115.91	<b>P20</b>	208	<b>P26</b>	101.92	<b>P32</b>	223.81
<b>P5</b>	125	<b>P11</b>	100	<b>P21</b>	145	<b>P27</b>	112.5		
<b>P6</b>	196	<b>P15</b>	103.45	<b>P22</b>	124.39	<b>P28</b>	115.38		

e)

<b>S5</b>	<b>24 al 31 enero-19</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>T1X10</b>	<b>0%</b>				
Semana de trasplante.									
se sacrificó altura por reproducción									
no hubo crecimiento en altura pero se aumentó el número de hojas									

f)

<b>S6</b>	<b>31 enero al 07-feb-19</b>	<b>25</b>	<b>77.4%</b>	<b>T2X10</b>	<b>334.99%</b>				
Crecieron de un 100% a un 1400%									
<b>P1</b>	680	<b>P6</b>	150	<b>P12</b>	255.56	<b>P18</b>	500	<b>P23</b>	221.43
<b>P3</b>	400	<b>P7</b>	233.33	<b>P13</b>	733.33	<b>P20</b>	1400	<b>P25</b>	300
<b>P4</b>	900	<b>P9</b>	420	<b>P14</b>	220	<b>P21</b>	1000	<b>P26</b>	300
<b>P5</b>	200	<b>P11</b>	100	<b>P17</b>	700	<b>P22</b>	375	<b>P27</b>	100
<b>P28</b>	500	<b>P29</b>	125	<b>P31</b>	250	<b>P32</b>	275		

g)

<b>S7</b>	<b>07 al 14 feb-19</b>	<b>26</b>	<b>83.80%</b>	<b>T2X10</b>	<b>251.24%</b>					
Crecieron de un 117.39% a un 1325%									<b>P31</b>	170
<b>P2</b>	147.62	<b>P6</b>	266.67	<b>P12</b>	213.04	<b>P16</b>	193.75	<b>P21</b>	150	
<b>P3</b>	250	<b>P8</b>	117.39	<b>P13</b>	145.45	<b>P18</b>	326.67	<b>P22</b>	133.33	
<b>P4</b>	900	<b>P9</b>	190.48	<b>P14</b>	336.36	<b>P19</b>	328.57	<b>P23</b>	135.48	
<b>P5</b>	135	<b>P11</b>	175	<b>P15</b>	400	<b>P20</b>	178.57	<b>P24</b>	144.29	
<b>P25</b>	166.67	<b>P26</b>	166.67	<b>P27</b>	400	<b>P29</b>	510	<b>P30</b>	1325	

h)

<b>S8</b>	<b>14 al 21 feb-19</b>	<b>22</b>	<b>70.90%</b>	<b>T2X15</b>	<b>135.36%</b>				
Crecieron de un 100% a un 250 %									
<b>P1</b>	112.9	<b>P8</b>	148.15	<b>P15</b>	125	<b>P23</b>	114.21	<b>P31</b>	105.88
<b>P2</b>	112.9	<b>P9</b>	102.5	<b>P17</b>	111.11	<b>P25</b>	120	<b>P32</b>	106.67
<b>P3</b>	133.33	<b>P11</b>	114.29	<b>P19</b>	182.61	<b>P26</b>	120		
<b>P5</b>	107.41	<b>P13</b>	128.13	<b>P20</b>	178.57	<b>P27</b>	250		
<b>P7</b>	166.67	<b>P14</b>	100	<b>P22</b>	137.5	<b>P28</b>	200		

i)

<b>S9</b>	<b>21 al 28 feb-19</b>	<b>21</b>	<b>67.70%</b>	<b>T2X15</b>	<b>151.24%</b>					
Crecieron de un 102.5% a un 225.81 %									<b>P32</b>	109.38
<b>P3</b>	125	<b>P8</b>	102.5	<b>P15</b>	116.67	<b>P24</b>	215.87			
<b>P4</b>	183.33	<b>P11</b>	175	<b>P16</b>	132	<b>P25</b>	183.33			
<b>P5</b>	148.28	<b>P12</b>	225.81	<b>P18</b>	159.57	<b>P26</b>	183.33			
<b>P6</b>	157.14	<b>P13</b>	158.54	<b>P20</b>	183.33	<b>P27</b>	120			
<b>P7</b>	107.5	<b>P14</b>	121.62	<b>P21</b>	325	<b>P30</b>	223.68			

j)

<b>S10</b>	<b>28-feb al 08-mzo-19</b>	<b>17</b>	<b>54.89%</b>	<b>T2X15</b>	<b>214.51%</b>				
Crecieron de un 100% a un 325 %									
<b>P2</b>	193.1	<b>P17</b>	200	<b>P23</b>	155.26	<b>P31</b>	260		
<b>P8</b>	131.71	<b>P19</b>	180	<b>P25</b>	100	<b>P32</b>	157.14		
<b>P9</b>	850	<b>P20</b>	100	<b>P26</b>	118.18				
<b>P11</b>	175	<b>P21</b>	325	<b>P28</b>	207.69				
<b>P16</b>	136.36	<b>P22</b>	171.48	<b>P29</b>	185.71				

k)

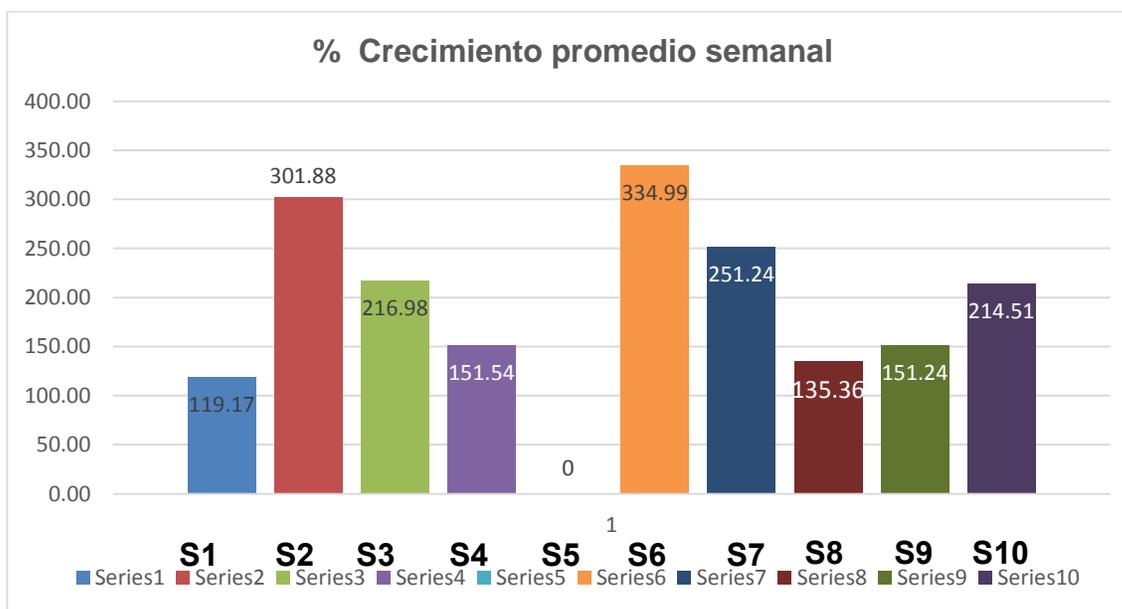
<b>S11</b>	<b>08 al 14- mzo-19</b>	<b>1</b>	<b>3.20%</b>	<b>T2X15</b>
Crecimiento máximo 108.2%				
<b>P1</b>	108.20%			

Tabla 4.4 a) – k). Crecimiento semanal con los individuos que crecieron el 100% o más a partir de la exposición al tratamiento sonoro-musical

La semana con mayor porcentaje de crecimiento promedio fue la semana 6 con un 334.99%, siendo ésta una semana después del trasplante, teniendo la composición 1 por 10 minutos cada 3 horas en un rango de 6:00 a 18:00 horas

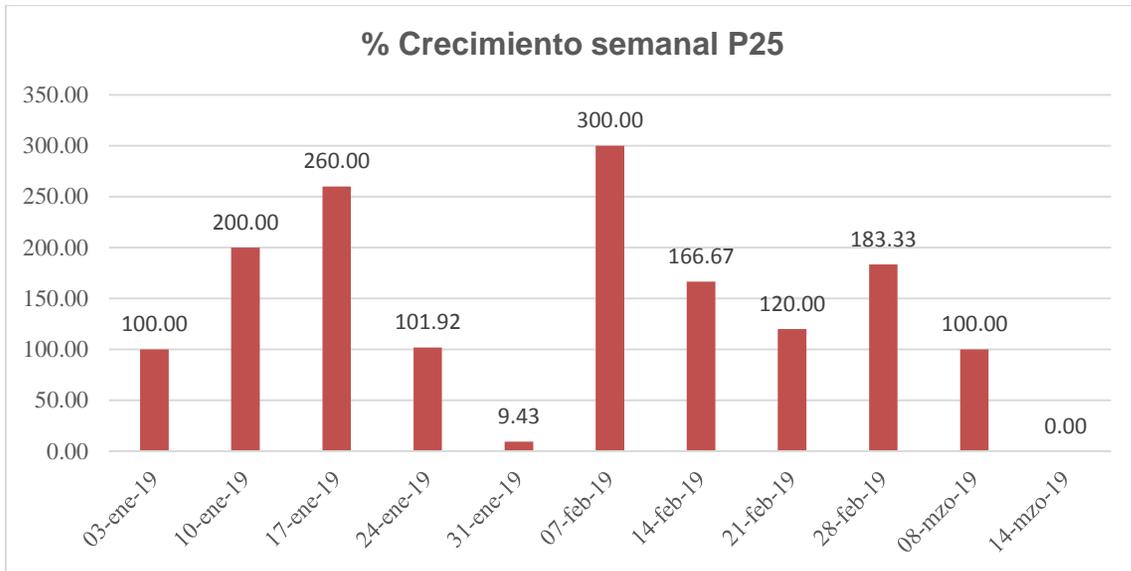
En la semana 2 hubo un 100% de plantas con un crecimiento promedio mayor o igual al 100%, teniendo como media un crecimiento del 301.88%

Sin embargo durante todo el periodo de crecimiento más del 50% de individuos tuvieron un rango de crecimiento semanal mayor o igual del 100% hasta el 1400%.

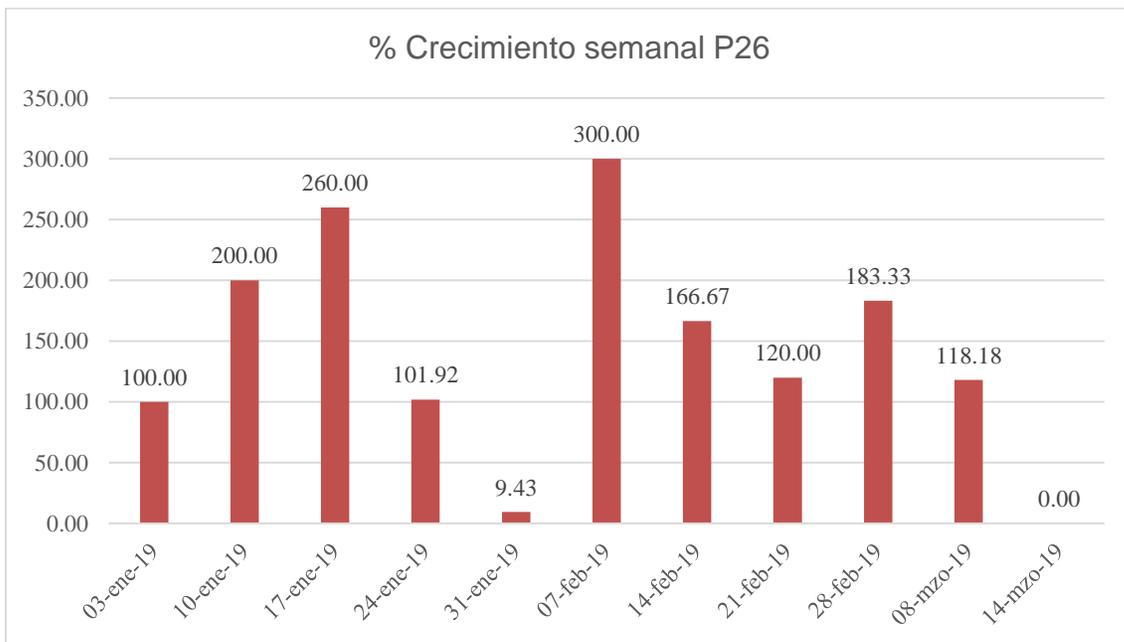


Gráfica 4.1 Porcentaje de crecimiento semanal. No se observa la semana 11 ya que solo fue una lechuga que alcanzó el 108.2% de crecimiento. Fuente propia.

Se observó que las plantas 25 y 26 tuvieron un crecimiento igual durante todas las semanas, éstas se encontraban frente de la bocina.



Gráfica 4.2 % de crecimiento semanal P25. Fuente propia.



Gráfica 4.3 % de crecimiento semanal P26. Fuente propia

Visualmente también se observaron diferencias: las plantas 25, 8, 14 y 18 crecieron en dirección a la bocina, mientras que las plantas 24, 9, 7 y 16 crecieron al lado contrario de la bocina. Las demás crecieron de forma normal, así mismo se observó que las plantas 4, 21 y 23 crecieron con el tallo torcido.



Imagen 4.29 Crecimiento de la P24 y P9 en dirección contraria a la bocina, P25 y P8 creciendo en dirección a la bocina. Fuente propia.



Imagen 4.30 Muestra del tallo torcido de una lechuga. Fuente propia.

Adicionalmente la planta 32 a pesar de que brotó 15 días después, se cosechó en la misma semana que las demás plantas.

Así mismo se reportaron un 9.6% de lechugas con un crecimiento anormal en el tallo, un 12.9% de lechugas con un crecimiento en dirección a la fuente de sonido, un 12.9% de lechugas con un crecimiento en dirección contraria a la fuente de sonido, y un 64.5% de lechugas con un crecimiento normal.



Imagen 4.31 Representación gráfica del acomodo de las lechugas

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de las pruebas realizadas, se dedujo que al exponer la lechuga romana a la composición 1 durante 6.5 semanas, aumentando de 5 a 10 minutos el tiempo de reproducción del tratamiento cada 3 horas en un horario de 6:00 a 18:00 horas; y exponiendo la composición 2 durante 15 minutos cada 3 horas en el mismo horario durante 3.5 semanas, se logra obtener una cosecha a las 10 semanas de cultivo dentro de un invernadero, lo que representa un 31% más de productividad anual. Ya que el periodo normal de cultivo para cosecha es de 12 a 14 semanas.

Para la realización de esta investigación no se contó con 2 invernaderos iguales para poder llevar a cabo al mismo tiempo, durante la etapa de exposición de tratamiento, un grupo control y un grupo con tratamiento debido a la limitante económica con la que se contó a lo largo de la investigación. Es por esto que los resultados se compararon con literatura.

Por otra parte sería conveniente contar con el apoyo financiero para continuar este experimento repitiendo las condiciones del mismo para poder comparar y deducir de una manera más precisa los resultados.

Se recomienda que el tiempo total de reproducción desde la etapa de plántula sea de 60 minutos. Esta recomendación se basa en el hecho de que se observó un aumento significativo de crecimiento a partir de mayor tiempo de exposición.

Se recomienda que para próximos experimentos similares se lleve a cabo la medición en centímetros de un grupo control y un grupo afectado. Así mismo llevar a cabo más análisis biológicos de la lechuga para poder observar si existe algún tipo de cambio interno en la lechuga.

Se recomienda considerar un invernadero con tecnología y equipo de monitoreo para actuar en caso de condiciones climatológicas en un posible evento de aumento o disminución de temperaturas extremas.

Adicional a estas recomendaciones se considera importante que el equipo de reproducción de audio y en general la instalación eléctrica sea de calidad para no afectar o interrumpir el proceso de tratamiento.

Considerando la propagación radial del sonido será conveniente instalar un mayor número de bocinas para cubrir de una manera más homogénea la totalidad del cultivo

Cabe comentar que este experimento se realizó en un invernadero compartido, lo que propicio la interferencia de terceros no colaboradores de este proyecto generando contingencias que se tuvieron que resolver por otros medios. Es por esto que se recomienda contar con un espacio exclusivo para la realización de futuras pruebas.

Esta investigación tiene como finalidad ser una referencia para futuras investigaciones y formar parte de la bibliografía, quedando así como un pre-estudio/guía.

## REFERENCIAS

- Alejandro, M. M. (2013). Introducción. Los pequeños productores agrícolas en México. 111-112. (C. U. Sur, Ed.) Guadalajara, Jalisco, México. Recuperado el 23 de octubre de 2019, de <http://www.revistascientificas.udg.mx/index.php/CER/article/viewFile/5490/5042>
- Carlson, D. (s.f.). *Sonic Bloom*. Obtenido de Sustainable Gardening and Farming: <http://dancarlsonsonicbloom.com/>
- Census At School, New. (24 de 11 de 2017). Obtenido de <http://www.deie.mendoza.gov.ar/aem/material/Estad%C3%ADstica%20de%20Investigaci%C3%B3n.pdf>
- Chile, E. (2013). *Educar Chile*.
- Chivukula, V., & Ramaswamy, S. (5 de octubre de 2014). *International Journal of Environmental Science and Development*. Recuperado el 27 de agosto de 2017, de <http://www.ijesd.org/papers/522-CD0162.pdf>
- Chowdhury, A., & Gupta, A. (2015). Effect of Music on Plants – An Overview. (I. J. Sciences, Ed.) Innovation and Technology (IJIT).
- Domínguez, M. G. (mayo de 2015). Inteligencia Vegetal. Obtenido de <http://caumas.org/wp-content/uploads/2015/10/INTELIGENCIA-VEGETAL.pdf>
- Ekici, N. (s.f.). The effects of different musical elements on root growth and mitosis in onion (*Allium cepa*) Root apical meristem (Musical and Biological Experimental Study). (D. o. Biology, Ed.) Edirne, Turkey: Trakya University.
- Eroski, F. (s.f.). *Eroski Consumer Hortalizas y verduras*. Recuperado el 11 de 10 de 2019, de <https://verduras.consumer.es/lechuga/introduccion>

- Gagliano, M. (25 de noviembre de 2012). Green symphonies: a call for studies on. *The official journal of the ISBE*, 789-795. doi:10.1093/beheco/ars206
- Gagliano, M. (1 de julio de 2013). *Behavioral Ecology*. Obtenido de Green symphonies or wind in the willows? Testing acoustic communication in plants: <https://academic.oup.com/beheco/article/24/4/797/218991/Green-symphonies-or-wind-in-the-willows-Testing>
- Garcia, L. (2010). *Pulsu(m) Plantae*. (Wpshower, Editor) Recuperado el 27 de 08 de 2017, de <http://lessnullvoid.cc/pulsum/>
- Germán, P. (s.f.). *Jardieriaon*. Obtenido de <https://www.jardineriaon.com/tipos-de-lechuga.html>
- Gupta, A. R. (s.f.). *International Journal of Integrative Sciences, Innovations and Thechnology (IJIT)*. Recuperado el 26 de agosto de 2017, de Internationally indexed and abstracted journal: [https://www.researchgate.net/profile/Anindita\\_Roy\\_Chowdhury/publication/291086163\\_Effect\\_of\\_Music\\_on\\_Plants\\_-\\_An\\_Overview/links/569df9c308ae00e5c98ff50c/Effect-of-Music-on-Plants-An-Overview.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anindita_Roy_Chowdhury/publication/291086163_Effect_of_Music_on_Plants_-_An_Overview/links/569df9c308ae00e5c98ff50c/Effect-of-Music-on-Plants-An-Overview.pdf)
- Hernández G., M. A., Ramos, M. A., Silva, A. D., Siu, E., Elcoro, S., & Acosta G., Y. (2010). Efecto de la aplicación de dos tipos de música. *Multiciencias*, 10(Extraordinario), 28-35. Recuperado el 27 de 08 de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/904/90430360006.pdf>
- Jeon, M.-J., Cho, J.-L., Park, S.-H., Kim, K.-H., Lee, S. K., Kwon, T.-R., . . . Siddiqui, Z. S. (14 de septiembre de 2013). *SOUND FREQUENCIES INDUCE DROUGHT TOLERANCE IN RICE PLANT*. Obtenido de [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/46\(6\)/11.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/46(6)/11.pdf)
- Laura, C. B. (Junio de 2016). *Repositorio UAQ*. Obtenido de <http://ri.uaq.mx/handle/123456789/4835>

- López López, G., Magaña Lira , N., & Vázquez Romero, C. (2014). *SAGARPA*. Recuperado el 29 de 11 de 2017, de Programa Integral de Desarrollo Rural 2014 Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio. Cultivo de Lechuga: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/Documents/AgriculturaF/LECHUGA.pdf>
- Maggiolo, D. (s.f.). *Apuntes de Acústica Musical*. Recuperado el 06 de 11 de 2017, de Timbre: <http://www.eumus.edu.uy/docentes/maggiolo/acuapu/tbr.html>
- Mancuso, S., & Viola, A. (2015). *Sensibilidad e inteligencia* (primera ed.). (D. P. López, Trad.) Barcelona, España : Galaxia Gutenberg, S.L.
- Medina, E. (10 de enero de 2007). BioArte: Una Nueva Fórmula de Expresión Artística. (C. d. Digitales, Ed.) *Revista Digital Universitaria*, 8, 4. Recuperado el 06 de 11 de 2017, de [http://www.revista.unam.mx/vol.8/num1/art01/ene\\_art01.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.8/num1/art01/ene_art01.pdf)
- Métodos de Investigación*. (s.f.). Recuperado el 07 de 11 de 2017, de <http://www.psicol.unam.mx/Investigacion2/pdf/METO2F.pdf>
- mon\_copi. (30 de octubre de 2013). *Cultura Colectiva*. Obtenido de <https://culturacolectiva.com/arte/bioarte-el-impulso-cultural-de-la-ciencia/>
- Nations, F. a. (noviembre de 2017). El Futuro de la alimentación y la agricultura. Obtenido de <https://www.facebook.com/UNFAO/videos/10155905379048586/UzpfSTExNDc5ODE1NTk6MTAyMTYyODUxNDYyOTg0NzI/>
- Olvera González , J., Sánchez Robles, J., Ochoa Bautista, R., Rodríguez Cruz, F., Roque Zavaleta, J., Ortega Rivas, C., . . . Carrillo Trueba, L. A. (s.f.). *Abriendo Surcos*. (A. M. Perera, Ed.) Recuperado el 07 de 11 de 2017, de <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/069/ca069.pdf>

- Pablo, L. d., & Fundación BBVA. (2009). *Una Historia de la Música Contemporánea*. España: Rubes Editorial. Recuperado el 06 de 12 de 2017, de [https://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/DE\\_2009\\_una\\_historia\\_musica.pdf](https://w3.grupobbva.com/TLFU/dat/DE_2009_una_historia_musica.pdf)
- Pesquera, S. d. (02 de mayo de 2018). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/articulos/lactuca-sativa-l-tipos-y-variedades-que-se-producen-en-mexico?idiom=es>
- Proctor, F. (diciembre de 2013). *Revista Claridades Agropecuarias*. Recuperado el 24 de octubre de 2016, de <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/244/ca244-7.pdf>
- Proctor, F., & Lucchesi, V. (2012). *La agricultura a pequeña escala y la juventud en una época de rápidos cambios rurales*. (IIEED, Ed.) London: Plural editores. Obtenido de <https://pubs.iied.org/pdfs/16540IIED.pdf>
- Rexresearch. (s.f.). Obtenido de <http://www.rexresearch.com/sternheimer/sternheimer.htm>
- Schmelkes, C. (2001). *Manual para la Presentación de Anteproyectos e Informes de Investigación. (Tesis) (2da ed.)*. México: Oxford.
- Seminis. (08 de mayo de 2017). *Qué son los trips y cómo manejarlos*. Recuperado el 28 de septiembre de 2019, de <https://www.seminis.mx/blog-que-son-los-trips-y-como-manejarlos/>
- Tompkins, P., & Bird, C. (2016). *La vida secreta de las plantas*. (A. Mateo, Trad.) Madrid, España: Capitán Swing libros S. L. Recuperado el 2018
- Uchida, A., & Yamamoto T., k. (15 de junio de 2002). *Oxford Academy*. Obtenido de *Effects of Mechanical Vibration on Seed Germination of Arabidopsis thaliana (L.) Heynh., Plant and Cell Physiology*: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcf079>

## ANEXO 1 PESO FRESCO Y SECO

A demás de las conclusiones ya mencionadas, se agregan los pesos frescos y secos (en gramos) de la mitad de cultivo. Esto se realizó para poder acceder a los análisis bromatológicos que más adelante se anexan.

# Lechuga	Peso Fresco	Peso Seco
1	420.0	40.0
3	340.0	20.0
5	400.0	22.0
8	320.0	25.0
11	400.0	25.0
12	480.0	23.5
16	520.0	31.0
18	440.0	31.0
19	260.0	19.0
20	320.0	21.0
22	460.0	27.5
24	460.0	20.0
25	320.0	21.0
29	440.0	30
30	420.0	26.0

Tabla A 1.1 de peso fresco y seco en gramos

## ANEXO 2. ANÁLISIS BOMATOLÓGICOS

Análisis elaborados por la Dra. Lucía Abadía de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

El cálculo de los resultados se hizo en base húmeda, por triplicado y de 3 lechugas en distancia diferente a la fuente de tratamiento.

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado (g/100 g producto)</b>
Humedad	AOAC 925.09B	3.066 ± 0.103
Lípidos	NMX-F-100-1984	2.249 ± 0.074
Proteína total	AOAC 954.01	16.826 ± .968
Cenizas	AOAC 923.03	28.426 ± 3.85
Carbohidratos	Por diferencia	49.43 ± 0.27

Imagen A 2.1 Análisis bromatológicos de la lechuga #16

<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado (g/100 g producto)</b>
Humedad	AOAC 925.09B	7.751 ± 0.598
Lípidos	NMX-F-100-1984	2.212 ± 0.003
Proteína total	AOAC 954.01	16.273 ± 2.002
Cenizas	AOAC 923.03	25.534 ± 1.532
Carbohidratos	Por diferencia	48.23 ± 0.47

Imagen A 2.2 Análisis bromatológicos lechuga #05

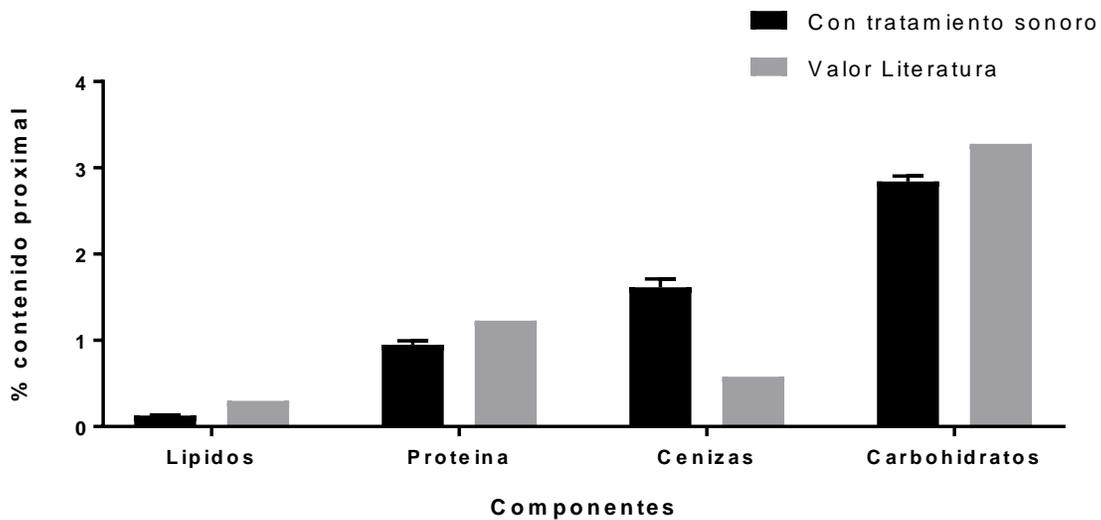
<b>Ensayo</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado (g/100 g producto)</b>
Humedad	AOAC 925.09B	6.823 ± 0.958
Lípidos	NMX-F-100-1984	2.057 ± 0.085
Proteína total	AOAC 954.01	15.334 ± 0.9045
Cenizas	AOAC 923.03	28.43 ± 2.236
Carbohidratos	Por diferencia	47.35 ± 0.37

Imagen A 2.3 Análisis bromatológicos lechuga #22

## Resultados de análisis bromatológicos<sup>9</sup>

Valores de los tratamientos comparados con la caracterización de literatura. Análisis realizados dentro del programa Graphpad Prism.

Solo se observa una menor proporción de proteína y carbohidratos, sin embargo, se observa un aumento significativo del contenido de minerales totales, que podría atribuirse también a características del sustrato. Por lo que convendría evaluar ese factor en estudios posteriores.



Gráfica A 2.1 de resultados comparados con bibliografía

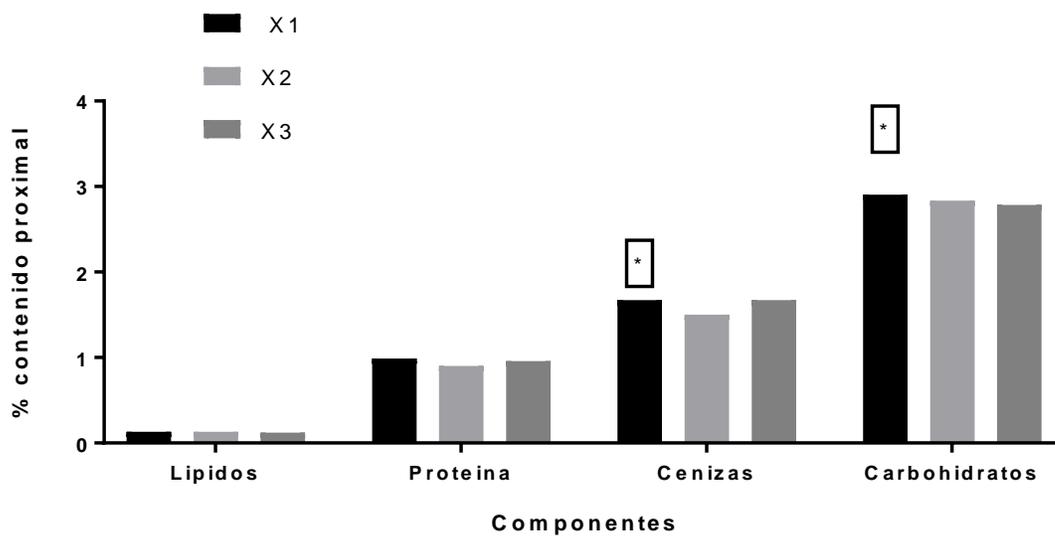
<sup>9</sup> Interpretación de análisis bromatológicos a cargo de la “doctorante” Laura Ciasedo.(UAQ).

Se evaluó el efecto de la distancia de las aplicaciones acústicas con respecto al contenido nutricional total de las lechugas y aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas, se observó un ligero incremento de carbohidratos y minerales en las plantas a una distancia de 1.25m de la bocina.

X1: lechuga #16

X2: lechuga #05

X3: Lehcuga #22



Gráfica 2.2 de resultados comparados entre las lechugas tratadas

X1: 1.25 m de la bocina

X2: 1.45 m de la bocina

X3: 0.40 m de la bocina

## Discusión

- Además , el rendimiento de la lechuga de 19.6 respecto al control (Hassanien et al., 2014)
- La lechuga tratada por tecnología de ondas fue 44.1% mayor que las lechugas del grupo control. SPL 100dB, una vez al día, 180 minutos cada vez en un horario de 7:00am a 10:00am (Hou and Mooneyham, 1999)

## Referencias

Hassanien, R. H. E., T. HOU, Y. LI, and B. LI. 2014. Advances in Effects of Sound Waves on Plants. *J. Integr. Agric.* 13:335–348. doi:[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60492-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60492-X). Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209531191360492X>

Hou, T. Z., and R. E. Mooneyham. 1999. Applied studies of plant meridian system: I. The effect of agri-wave technology on yield and quality of tomato. *Am. J. Chin. Med.* 27:1–10. doi:S0192415X99000021 [pii].