



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Campus Aeropuerto



“Evaluación de la conectividad de la sustancia blanca  
en fascículos longitudinales y uncinado en  
trabajadores expuestos a solventes”

## **Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Biomédico

### **Presenta:**

José Enrique Rincón Silverio

### **Dirigido por:**

Dr. Arturo Hernández Medina

Santiago de Querétaro, Querétaro, México  
Febrero 2026

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Campus Aeropuerto



## **“Evaluación de la conectividad de la sustancia blanca en fascículos longitudinales y uncinado en trabajadores expuestos a solventes”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Biomédico

Presenta:

**José Enrique Rincón Silverio**

Dirigido por:

**Dr. Arturo Hernández Medina**

Dr. Arturo Hernández Medina

Presidente

Dr. Carlos Andrés Pérez Ramírez

Secretario

M.C. Germán González Pérez

Vocal

Dr. J.C. Axayacatl Morales Guadarrama

Sinodal

Febrero 2026

## RESUMEN

Las imágenes por tensor de difusión (DTI) nos permite obtener información detallada de la estructura de la sustancia blanca del cerebro mediante los valores de Disfunción axial (AD), Disfunción radial (RD) y Anisotropía Fraccionada (FA). Podemos obtener, si tenemos una buena mielinización o no mediante los valores de FA y RD, de la misma manera si existe un daño axonal mediante el valor de AD. Estos parámetros se utilizaron para analizar la conectividad de la sustancia blanca en fascículos longitudinales y uncinado en un grupo expuestos a solventes y realizar un análisis contra un grupo control, mediante los valores de AD, RD y FA. Las imágenes de resonancia magnética por tensor de difusión se tomaron de una base de datos de ambos grupos, posteriormente se procesaron las imágenes en el software DTI Studio para obtener los valores mencionados de las cuatro zonas de interés, en ambos grupos se realizó una prueba estadística, para comparar dos promedios de variables cuantitativas grupo control contra grupo expuesto, mediante pruebas de distribución normal y sin distribución normal, t de Student y U Mann Whitney. Con los resultados se realizó la comparativa de los parámetros de las cuatro zonas de interés entre el grupo expuesto y grupo control. En los valores de AD se obtuvieron resultados puntuales donde se vieron afectados el valor en el grupo de personas expuestas a solventes, pero se debe considerar aumentar el grupo de participantes para tener más muestras.

## ABSTRACT

Diffusion tensor imaging (DTI) allows us to obtain detailed information about the structure of the brain's white matter using the values of Axial Dysfunction (AD), Radial Dysfunction (RD), and Fractional Anisotropy (FA). We can determine whether or not there is adequate myelination using the FA and RD values,, we can determine if there is axonal damage using the AD value. These parameters were used to analyze white matter connectivity in the longitudinal and uncinate fasciculi in a group exposed to solvents and to compare it against a control group using the AD, RD, and FA values. Diffusion tensor magnetic resonance images were taken from a database of both groups. The images were then processed using DTI Studio software to obtain the aforementioned values for the four areas of interest. Statistical tests were performed in both groups to compare the means of two quantitative variables: the control group versus the exposed group. These tests included tests for normal and non-normal distributions, Student's t-test, and the Mann-Whitney U test. The results were used to compare the parameters of the four areas of interest between the exposed and control groups. Specific results were obtained for the AD values, showing an impact on the value in the group exposed to solvents, but the sample size should be increased to obtain more samples.

## DEDICATORIA

A mis padres, Juana y José,  
todo mi agradecimiento y admiración.

# AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a mis padres, mi mamá Juana y a mi papá, José, por todo su apoyo que me han brindado, por todo lo que han enseñado y todo el esfuerzo que han realizado para poder cumplir mis metas. Gracias por el amor que han demostrado y ser mi principal inspiración para ser la persona que soy.

A mi hermano que a pesar de su corta edad fue parte de todo este camino el cual también ha puesto su esfuerzo y apoyo.

A mi abuela Angela, por ser la persona que siempre creía en mí, por su apoyo y amor incondicional.

A Genoveva Bailón, por su apoyo, entusiasmo y amor incondicional que durante todo este tiempo me has demostrado es una persona con la cual siempre puedo confiar, por ser parte de todo este proceso. Gracias por todo.

A mi familia, mis tíos, José Luis y María de Jesús, Gracias por todo el apoyo y amor que me mostraron, gracias por todo el apoyo brindado. Mi prima, Karina gracias por todo su apoyo.

A mi mejor amiga, Monserrat, por todo el apoyo que me ha brindado siempre y por ser de las mejores personas que he conocido además de acompañarme en varias etapas.

A la familia Hernández Novoa, Sra. Rosy, Sr. Isma, Kari e Ismael, gracias por todo el apoyo y la guía que me dieron desde mis primeras etapas.

Al Dr. Arturo Hernández Medina, por su dedicación, por todo su apoyo, por tener la dedicación a pesar de todo lo que pase durante el proyecto. Gracias por toda la confianza, su dedicación y vocación.

Al Dr. Carlos Pérez, por su colaboración, por la confianza, enseñanzas y apoyo.

Al M.C. Germán González Pérez por su colaboración y disposición.

Al Dr. Axayácatl Morales Guadarrama por su colaboración y disposición.

¡Gracias!

# Lista de abreviaturas

|        |       |                                                       |
|--------|-------|-------------------------------------------------------|
| AD     | ----- | Difusión Axial                                        |
| ADC    | ----- | Coeficiente de Difusión Aparente                      |
| RM     | ----- | Resonancia Magnética                                  |
| DTI    | ----- | Imágenes por Tensor de Difusión                       |
| DM     | ----- | Difusión Medial                                       |
| FA     | ----- | Anisotropía Fraccionada                               |
| RD     | ----- | Difusión Radial                                       |
| FID    | ----- | Decaimiento de Libre Inducción                        |
| DICOM  | ----- | Formato de Imagen digital y Comunicación en Medicina  |
| DWI    | ----- | Imágenes Ponderadas de Difusión                       |
| GQI    | ----- | Imágenes de Muestreo q Generalizadas                  |
| QSDR   | ----- | Reconstrucción Difeomórfica del Espacio q             |
| FLS    | ----- | Fascículo Longitudinal Superior                       |
| FU     | ----- | Fascículo Uncinado                                    |
| SNC    | ----- | Sistema Nervioso Central                              |
| NIH    | ----- | Instituto Nacional de la Salud                        |
| OTI    | ----- | Organización Internacional del Trabajo                |
| OEA    | ----- | Organización de Estados Americanos                    |
| ENCODE | ---   | Encuesta Nacional de Consumo de Drogas en Estudiantes |



# ÍNDICE GENERAL

|                                                                    |            |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| Índice de tablas.....                                              | 9          |
| Índice de ilustraciones.....                                       | 11         |
| Índice de gráficas.....                                            | 14         |
| <b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>                                       | <b>16</b>  |
| <b>II. ANTECEDENTES .....</b>                                      | <b>19</b>  |
| <b>III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>                           | <b>21</b>  |
| III.I Inhalantes.....                                              | 21         |
| III.II Efectos de los inhalantes .....                             | 24         |
| III.III Lóbulo Longitudinal y lóbulo uncinado.....                 | 26         |
| III.IV Resonancia Magnética (RM).....                              | 29         |
| III.V Estudio Estadístico.....                                     | 34         |
| <b>IV. JUSTIFICACIÓN .....</b>                                     | <b>38</b>  |
| <b>V. OBJETIVOS.....</b>                                           | <b>39</b>  |
| <b>VI. HIPÓTESIS.....</b>                                          | <b>40</b>  |
| <b>VII. METODOLOGÍA.....</b>                                       | <b>41</b>  |
| VII.I Obtención de la base de datos.....                           | 41         |
| VII.II Pre-procesamiento de los datos .....                        | 41         |
| VII.III Análisis de datos .....                                    | 44         |
| <b>VIII. RESULTADOS.....</b>                                       | <b>45</b>  |
| VIII.I Fascículo Longitudinal Inferior izquierdo y derecho .....   | 46         |
| VIII.II Fascículo Longitudinal Medio izquierdo y derecho .....     | 60         |
| VIII.III Fascículo Longitudinal Superior izquierdo y derecho ..... | 74         |
| VIII.IV Fascículo Uncinado izquierdo y derecho .....               | 88         |
| <b>IX. DISCUSIÓN.....</b>                                          | <b>103</b> |
| <b>X. CONCLUSIONES.....</b>                                        | <b>105</b> |
| <b>XI. LIMITACIONES DEL PROYECTO.....</b>                          | <b>107</b> |
| <b>XII. REFERENCIAS.....</b>                                       | <b>108</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 1.- Compuestos químicos volátiles presentes en productos de uso industrial, cosméticos, domésticos y médico. Extraída y Modificada de (Atilano-Barbosa, 2020).....</i> | <i>22</i> |
| <i>Tabla 2.- Niveles de exposición de toxicidad por solventes de acuerdo con la actividad laboral desempeñada. Extraída y Modificada de (Atilano-Barbosa, 2020).....</i>        | <i>24</i> |
| <i>Tabla 3.- Efectos del tiempo de exposición a inhalantes. Extraído y modificado de (Hernández, 2022).....</i>                                                                 | <i>26</i> |
| <i>Tabla 4.- Prueba estadística de acuerdo con los objetivos del estudio y la escala de medición de las variables. Extraído de (Flores-Ruiz, 2017).....</i>                     | <i>37</i> |
| <i>Tabla 5.- Resultados estadísticos del volumen del fascículo longitudinal izquierdo y derecho.....</i>                                                                        | <i>50</i> |
| <i>Tabla 6.- Resultados estadísticos del valor de FA del fascículo longitudinal izquierdo y derecho.....</i>                                                                    | <i>53</i> |
| <i>Tabla 7.- Resultados estadísticos del valor de RD del fascículo longitudinal izquierdo y derecho.....</i>                                                                    | <i>55</i> |
| <i>Tabla 8.- Resultados estadísticos del valor de AD del fascículo longitudinal izquierdo y derecho.....</i>                                                                    | <i>58</i> |
| <i>Tabla 9.-Resultados estadísticos del volumen del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho.....</i>                                                                   | <i>64</i> |
| <i>Tabla 10.- Resultados estadísticos de FA del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho.....</i>                                                                       | <i>67</i> |
| <i>Tabla 11.- Resultados estadísticos de AD del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho.....</i>                                                                       | <i>69</i> |
| <i>Tabla 12.- Resultados estadísticos de RD del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho.....</i>                                                                       | <i>72</i> |
| <i>Tabla 13.- Resultados estadísticos del volumen del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho.....</i>                                                              | <i>78</i> |
| <i>Tabla 14.- Resultados estadísticos del FA del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho.....</i>                                                                   | <i>81</i> |

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 15.-Resultados estadísticos de AD del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho.....</i> | <i>83</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 16.-: Resultados estadísticos de RD del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho.....</i> | <i>86</i> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 17.- Resultados estadísticos de volumen del fascículo uncinado izquierdo y derecho.....</i> | <i>92</i> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 18.- Resultados estadísticos de FA del fascículo uncinado izquierdo y derecho.....</i> | <i>95</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 19.- Resultados estadísticos de AD del fascículo uncinado izquierdo y derecho.....</i> | <i>97</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Tabla 20.- Resultados estadísticos de RD del fascículo uncinado izquierdo y derecho.....</i> | <i>100</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Ilustración 1.- Identificación de fascículos en el cerebro (Palacios &amp; Clavijo, 2016).....</i>                                                                                                                               | <i>27</i> |
| <i>Ilustración 2: Ejemplificación de la exposición de un campo magnético en el cuerpo y la alineación de los protones del cuerpo en dirección del campo magnético imagen obtenida de ( Van Geuns, 1999).....</i>                    | <i>30</i> |
| <i>Ilustración 3.- "Imágenes de tensor de difusión de la materia blanca cerebral: una revisión pictórica de la física, la anatomía del tracto de fibra y los patrones de imágenes tumorales" Extraída de (DSI Studio,2020).....</i> | <i>33</i> |
| <i>Ilustración 4.-Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                 | <i>51</i> |
| <i>Ilustración 5.-: Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal inferior izquierdo.....</i>                                                                                                        | <i>51</i> |
| <i>Ilustración 6.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                  | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 7.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal inferior derecho.....</i>                                                                                                           | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 8.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                     | <i>53</i> |
| <i>Ilustración 9.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal inferior izquierdo.....</i>                                                                                                              | <i>54</i> |
| <i>Ilustración 10.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                      | <i>54</i> |
| <i>Ilustración 11.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal inferior derecho.....</i>                                                                                                               | <i>55</i> |
| <i>Ilustración 12.-Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                     | <i>56</i> |
| <i>Ilustración 13.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal inferior izquierdo.....</i>                                                                                                             | <i>56</i> |
| <i>Ilustración 14.- Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                      | <i>57</i> |
| <i>Ilustración 15.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal inferior derecho.....</i>                                                                                                               | <i>57</i> |
| <i>Ilustración 16.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                    | <i>58</i> |
| <i>Ilustración 17.- Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal inferior izquierdo.....</i>                                                                                                             | <i>59</i> |
| <i>Ilustración 18.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                                                      | <i>59</i> |

|                                                                                                                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Ilustración 19.-Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal inferior derecho.....</i>                                                                  | <i>59</i> |
| <i>Ilustración 20.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos. ....</i>   | <i>65</i> |
| <i>Ilustración 21.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal medio izquierdo.....</i>                                                             | <i>65</i> |
| <i>Ilustración 22.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>      | <i>66</i> |
| <i>Ilustración 23.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal medio derecho.....</i>                                                               | <i>66</i> |
| <i>Ilustración 24.- Gráfica de cajas y bigotes del FA del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos. ....</i>       | <i>67</i> |
| <i>Ilustración 25.- Gráfica de distribución de los valores del FA del fascículo longitudinal medio izquierdo.....</i>                                                                 | <i>68</i> |
| <i>Ilustración 26.- Gráfica de cajas y bigotes del FA del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>          | <i>68</i> |
| <i>Ilustración 27.- Gráfica de distribución de los valores del FA del fascículo longitudinal medio derecho.....</i>                                                                   | <i>69</i> |
| <i>Ilustración 28.- Gráfica de cajas y bigotes del AD del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>        | <i>70</i> |
| <i>Ilustración 29.- Gráfica de distribución de los valores del AD del fascículo longitudinal medio izquierdo.....</i>                                                                 | <i>70</i> |
| <i>Ilustración 30.- Gráfica de cajas y bigotes del AD del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>          | <i>71</i> |
| <i>Ilustración 31.- Gráfica de distribución de los valores del AD del fascículo longitudinal medio derecho.....</i>                                                                   | <i>71</i> |
| <i>Ilustración 32.- Gráfica de cajas y bigotes del RD del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>        | <i>72</i> |
| <i>Ilustración 33.- Gráfica de distribución de los valores del RD del fascículo longitudinal medio izquierdo.....</i>                                                                 | <i>73</i> |
| <i>Ilustración 34.- Gráfica de cajas y bigotes del RD del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>          | <i>73</i> |
| <i>Ilustración 35.- Gráfica de distribución de los valores del RD del fascículo longitudinal medio derecho.....</i>                                                                   | <i>74</i> |
| <i>Ilustración 36.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Ilustración 37.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal superior izquierdo.....</i>                                                          | <i>79</i> |
| <i>Ilustración 38.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal superior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>   | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 39.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal superior derecho.....</i>                                                            | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 40.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>      | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 41.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal superior izquierdo.....</i>                                                               | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 42.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>      | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 43.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal superior derecho.....</i>                                                                 | <i>83</i> |

|                                                                                                                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Ilustración 44.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i> | <i>84</i>  |
| <i>Ilustración 45.- Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal superior izquierdo.....</i>                                                          | <i>84</i>  |
| <i>Ilustración 46.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal superior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>   | <i>85</i>  |
| <i>Ilustración 47.- Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal superior derecho.....</i>                                                            | <i>85</i>  |
| <i>Ilustración 48.- Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i> | <i>86</i>  |
| <i>Ilustración 49.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal superior izquierdo.....</i>                                                          | <i>87</i>  |
| <i>Ilustración 50.- Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal superior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>   | <i>87</i>  |
| <i>ilustración 51.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal superior derecho.....</i>                                                            | <i>88</i>  |
| <i>Ilustración 52.- Grafica de cajas y bigotes de volumen del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>         | <i>93</i>  |
| <i>Ilustración 53.- Grafica de distribución de los valores de volumen del fascículo uncinado izquierdo.....</i>                                                                  | <i>93</i>  |
| <i>Ilustración 54.- Grafica de cajas y bigotes de volumen del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>           | <i>94</i>  |
| <i>Ilustración 55.- Grafica de distribución de los valores de volumen del fascículo uncinado derecho.....</i>                                                                    | <i>94</i>  |
| <i>Ilustración 56.-Grafica de cajas y bigotes del FA del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>              | <i>95</i>  |
| <i>Ilustración 57.- Grafica de distribución de los valores de FA del fascículo uncinado izquierdo.....</i>                                                                       | <i>96</i>  |
| <i>Ilustración 58.- Grafica de cajas y bigotes de FA del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                | <i>96</i>  |
| <i>Ilustración 59.- Grafica de distribución de los valores de FA del fascículo uncinado derecho.....</i>                                                                         | <i>97</i>  |
| <i>Ilustración 60.- Grafica de cajas y bigotes de AD del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>              | <i>98</i>  |
| <i>Ilustración 61.- Grafica de distribución de los valores de AD del fascículo uncinado izquierdo.....</i>                                                                       | <i>98</i>  |
| <i>Ilustración 62.- Grafica de cajas y bigotes de AD del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                | <i>99</i>  |
| <i>Ilustración 63.- Grafica de distribución de los valores de AD del fascículo uncinado derecho.....</i>                                                                         | <i>99</i>  |
| <i>Ilustración 64.- Grafica de cajas y bigotes de RD del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>              | <i>100</i> |
| <i>Ilustración 65.- Grafica de distribución de los valores de RD del fascículo uncinado izquierdo.....</i>                                                                       | <i>101</i> |
| <i>Ilustración 66.- Grafica de cajas y bigotes de RD del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.....</i>                | <i>101</i> |
| <i>Ilustración 67.- Grafica de distribución de los valores de RD del fascículo uncinado derecho.....</i>                                                                         | <i>10</i>  |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 1.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles..... | 46 |
| Gráfica 2.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles).....  | 47 |
| Gráfica 3.- Comparación gráfica de FA del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles.....       | 47 |
| Gráfica 4.- Comparación gráfica de FA del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles .....        | 48 |
| Gráfica 5.- Comparación gráfica de AD del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles.....       | 48 |
| Gráfica 6.- Comparación gráfica de AD del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles.....         | 49 |
| Gráfica 7.- Comparación gráfica de RD del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles.....       | 49 |
| Gráfica 8.- Comparación gráfica de RD del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles.....         | 50 |
| Gráfica 9.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal Medial Izquierdo.....                           | 60 |
| Gráfica 10.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal medial derecho.....                            | 61 |
| Gráfica 11.- Comparación gráfica del FA del fascículo longitudinal medial izquierdo.....                                        | 61 |
| Gráfica 12.- Comparación gráfica del FA del fascículo longitudinal medial derecho.....                                          | 62 |
| Gráfica 13.- Comparación gráfica del AD del fascículo longitudinal medial izquierdo.....                                        | 62 |
| Gráfica 14.- Comparación gráfica del AD del fascículo longitudinal medial derecho.....                                          | 63 |
| Gráfica 15.- Comparación gráfica del RD del fascículo longitudinal medial izquierdo.....                                        | 63 |
| Gráfica 16.- Comparación gráfica del RD del fascículo longitudinal medial derecho.....                                          | 64 |
| Gráfica 17.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal superior Izquierdo.....                        | 74 |
| Gráfica 18.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal superior derecho.....                          | 75 |
| Gráfica 19.- Comparación gráfica del FA del área del fascículo longitudinal superior izquierdo.....                             | 75 |
| Gráfica 20.- Comparación gráfica del FA del área del fascículo longitudinal superior derecho.....                               | 76 |
| Gráfica 21.-Comparación gráfica del AD del área del fascículo longitudinal superior izquierdo.....                              | 76 |
| Gráfica 22.- Comparación gráfica del AD del área del fascículo longitudinal superior derecho.....                               | 77 |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 23.- Comparación gráfica del RD del área del fascículo longitudinal superior izquierdo.....                | 77 |
| Gráfica 24.- Comparación gráfica del RD del área del fascículo longitudinal superior derecho.....                  | 78 |
| Gráfica 25.-Comparación gráfica del volumen del área del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.....   | 88 |
| Gráfica 26.-Comparación gráfica del volumen del área del fascículo uncinado Izquierdo entre casos y controles..... | 89 |
| Gráfica 27.- Comparación gráfica de FA del fascículo uncinado izquierdo entre casos y controles.....               | 89 |
| Gráfica 28.- Comparación gráfica de FA del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.....                 | 90 |
| Gráfica 29.- Comparación gráfica de AD del fascículo uncinado izquierdo entre casos y controles.....               | 90 |
| Gráfica 30.- Comparación gráfica de AD del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.....                 | 91 |
| Gráfica 31.- Comparación gráfica de RD del fascículo uncinado izquierdo entre casos y controles.....               | 91 |
| Gráfica 32.- Comparación gráfica de RD del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.....                 | 92 |



## I. INTRODUCCIÓN

En México los empleados de algunas grandes industrias se encuentran en contacto directo con las sustancias químicas durante su jornada laboral, la mayoría de las veces no cuentan con ningún tipo de protección, en ocasiones trabajos informales, lo cual provoca que estén en constante riesgo de contraer enfermedades crónicas. Algunas de las industrias donde los riesgos de los trabajadores van en aumento son: agricultura, industrias gráficas, servicios de limpiezas, gestión de residuos, industria química e industria mecánica automotriz. La organización Internacional del Trabajo (OIT) publicó que, “de los 2 millones de muertes laborales por año en el mundo, 440 mil se producen como resultado de la exposición de trabajadores a agentes químicos”. La Unión Europea, estima que; “se producen anualmente 32 mil muertes por cáncer, 16 mil enfermedades cutáneas, 6 mil 700 enfermedades respiratorias, 500 enfermedades oculares y 570 enfermedades del sistema nervioso central”, esto debido a la exposición a las sustancias tóxicas en el trabajo (Córdova, Flores, García, & Salvador, 2014).

En el contexto laboral tenemos estudios que indican un riesgo con estas sustancias en talleres de pintura, entre otros talleres, donde los trabajadores están expuestos a un sinnúmero de solventes, incluso en cantidades que sobrepasan los límites establecidos mundialmente, lo cual provoca daños graves a la salud. Tomando en cuenta que son trabajos que realizan diferentes personas se pueden volver problemas crónicos, más allá de no ser tomada como droga o adicción porque se da en un contexto laboral (Padilla, 2020).

En un contexto recreativo, por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud define a las drogas como: “sustancias que ocasionan modificaciones en la conciencia y estado de ánimo; dichas sustancias se dividen en: depresoras, estimulantes y alucinógenos o psicodélicas”. De igual forma se clasifican en drogas legales e ilegales. De acuerdo con un estudio publicado por la OEA en 2015 ha acaparado la

atención en el consumo de drogas a edad tempranas, el alto nivel de consumo en la población (OEA, 2019).

En 1980 los inhalables ocuparon el primer lugar como droga más usada, a lo largo de los años se han observado cambios en las preferencias en el consumo de las drogas por los estudiantes. Durante casi dos décadas los inhalables estuvieron en primer lugar, pero la problemática más importante en años recientes es el crecimiento que se dio entre 2006 y 2009 en el consumo de inhalables, principalmente en mujeres

Los resultados de la Encuesta Nacional de Consumo de Drogas en Estudiantes (ENCODE) muestran que a nivel nacional 17.2% de los jóvenes de secundaria y bachillerato han consumido drogas por primera vez, las drogas de preferencia entre los adolescentes son la mariguana (10.6%), seguida de los inhalables (5.8%) (Velázquez, Icaza, Sánchez, Ito, Gamiño, Escobar, Salazar, Cirett, Hernández & Martínez, 2016)

La constante exposición a factores sobre el abuso de drogas como: recompensa sensorial, la aparición de trastorno de ansiedad y depresión, la necesidad de aumentar las capacidades físicas y cognitivas y por presión social. Desencadenan comportamientos de consumo compulsivo lo que origina modificaciones a nivel estructural y funcional en el sistema nervioso central (National Institute on Drug Abuse, 2011)

Los solventes son sustancias orgánicas, en combinación con agentes tenso-activos pueden ser utilizados en diferentes aplicaciones. Pueden verse afectados el sistema nervioso central o periférico después de haber sido expuesto o inhalado, produciendo alteraciones neurológicas y psicológicas. Se ha determinado que trabajadores expuestos a solventes orgánicos en las industrias pueden presentar síndromes neurotóxicos que pueden ser irreversibles.

El tolueno es uno de los solventes más usados en las industrias lo que provoca diferentes síntomas, por ejemplo: irritación de mucosa ocular, manifestaciones

motoras y cefaleas. La principal vía de exposición al tolueno es respiratoria, su distribución en el organismo es rápida en tejidos lipofílicos, como el sistema nervioso central.

En las personas expuestas a tolueno la sustancia blanca es el área del cerebro comúnmente afectada debido al daño a la mielina cerebral, las imágenes por resonancia magnética de las personas expuestas a tolueno muestran hiperintensidades en la sustancia blanca, de la misma manera hipo intensidades en los ganglios basales y tálamo, pero estos cambios estructurales en el tejido cerebral suelen aparecer sólo en niveles altos de exposición (Keski-Säntti, Mäntylä, Lamminen, Hyvärinen & Sainio, 2009).

El objetivo de este trabajo es utilizar métodos de resonancia magnética por difusión, como imágenes de tensor de difusión, donde se obtendrán tres valores principalmente; Coeficiente de difusión axial, Anisotropía Fraccionada y Coeficiente de difusión radial. Mediante estos parámetros se espera poder obtener una relación entre participantes expuestos a inhalantes y participantes no expuestos.

## II. Antecedentes

Lo inhalantes son un gran problema que en ocasiones solo se ven temas más visibles de salud como las cuestiones físicas y se ven desde el tema recreativo como una droga, pero es claro que puede llegar a afectar de manera importante a personas que los “consumen” de forma constante, que no solo pueden llegar a afectar la parte física sino también la parte cognitiva. La organización del trabajo (OIT) estima que; cerca del 25% de las muertes de trabajadores se producen como resultado de la exposición a agentes químicos, de igual manera la unión europea estima que, alrededor de 570 enfermedades que afectan el sistema nervioso se producen por la exposición a sustancias tóxicas (Córdova, Flores & Salvador, 2014)

La encefalopatía tóxica se comprende como un daño cerebral, es decir una lesión tóxica, que se suelen dar en las áreas de trabajo. “La leucoencefalopatía tóxica es un trastorno de la sustancia blanca, es una de los síndromes que se producen por la encefalopatía tóxica”. “En el ámbito laboral los trabajadores están en un riesgo alto de padecer leucoencefalopatía tóxica crónica por la alta y constante exposición a sustancias” (Filley, 2015).

Estos problemas se considera nivel mundial, se realizó un estudio para observar que áreas cerebrales tenían mayor afectación en su volumen. Hicieron la comparativa de un grupo de adolescentes consumidores y adolescentes sanos de los dos países, estimaron el volumen del núcleo caudado, putamen, pálido, amígdala, hipocampo y tálamo, esto mediante imágenes de resonancia magnética. En el cual encontraron una importante relación; en el tálamo fue donde encontraron una mayor afectación en su volumen, encontraron una reducción de su volumen en adolescentes que consumían en comparación con el grupo con el cual no consumían (Hong et al., 2014)

El tolueno es de los principales solventes utilizados en la industria, en las personas expuestas a tolueno la sustancia blanca es el área que mayormente se ve afectada

debido a la desmielinización en cerebral, las imágenes por resonancia magnética de personas expuestas a tolueno suelen mostrar hiperintensidades en la sustancia blanca, hipo intensidades en ganglios basales y tálamo en niveles altos de exposición (Keski-Säntti, Mäntylä, Lamminen, Hyvärinen & Sainio, 2009).

Una relación de los efectos de solventes en México se realizó un trabajo multidisciplinario en el cual evaluaron un grupo de trabajadores expuesto ocupacionalmente a solventes para poder conocer que efectos se tiene en el sistema nervioso central y compararlos con un grupo control, en la cual estudiaron la estructura y función del grupo expuesto ocupacionalmente, utilizaron 4 técnicas diferentes; volumetría, morfología, tensor de difusión y conectividad funcional en estado de reposo, donde encontraron principalmente valores que están relacionados con afectaciones en sustancia blanca en ciertas zonas que fueron relacionadas con síntomas que reportaron los participantes así como cierto nivel de disminución de la conectividad funcional en reposo que están en conexión con funciones motoras (Hernández, 2022).

### **III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **III.I. Inhalantes**

Los inhalantes son sustancias volátiles, los cuales se evaporan fácilmente para formar un gas. Los vapores químicos que se pueden inhalar pueden provocar efectos psicoactivos. Es por esto que el término inhalantes se refiere a las varias sustancias que las personas usualmente consumen solo por inhalación. Es muy complicado clasificar los inhalantes debido a que contienen una amplia gama de sustancias químicas, así como diversos efectos farmacológicos.

El Instituto Nacional de la Salud de Estados Unidos (NIH) propone que, por la dificultad de la clasificación de inhalantes se proponen cuatro categorías generales, esto basado en las formas más comunes en las que estos se encuentran en los productos: domésticos, industriales y médicos. “Estas Cuatro categorías son: disolventes volátiles, aerosoles, gases y nítricos” (National Institute on Drug Abuse, 2011).

Los disolventes volátiles son líquidos que se vaporizan a temperatura ambiente, se encuentran en una variedad de productos económicos que se pueden obtener fácilmente y que son de uso común doméstico e industrial.

Los aerosoles contienen propulsores y disolventes, Los gases incluyen las anestias de uso médico, así como aquellos que se utilizan en productos para el área doméstica o comercial y los nitritos se consideran una clase especial de inhalantes, estos actúan directamente sobre el sistema nervioso central (SNC), los nitritos principalmente dilatan los vasos sanguíneos y relajan los músculos. Lo que hace diferentes de las otras tres categorías de inhalantes es que las primeras tres se utilizan para alterar el estado de ánimo mientras que los nitritos se usan principalmente para intensificar el placer sexual.

Tabla 4: Compuestos químicos volátiles presentes en productos de uso industrial, cosméticos, domésticos y médico. Extraída y Modificada de (Atilano-Barbosa, 2020)

| <b>PRODUCTO</b>                           | <b>COMPUESTO QUÍMICO</b>                                                       |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ADHESIVO</b>                           |                                                                                |
| Pegamentos                                | Tolueno, Acetato de etilo, Acetonas, Cetonas, N-Hexanos.                       |
| Cementos                                  | Tricloroetileno, Tetracloroetileno.                                            |
| <b>AEROSOLES</b>                          |                                                                                |
| Espray de pintura                         | Butano, Propano, Fluorocarburos, Tolueno, Hidrocarburos, Nafta.                |
| Espray de fijador de cabello              | Butano, Propano, Clorofluorocarburos.                                          |
| Espray analgésicos y tratamientos de asma | Clorofluorocarburos                                                            |
| Espray para tratamiento textil            | Butano, Tricloroetano                                                          |
| Limpiadores de equipo electrónico         | Dimetil éter, hidrofluorocarbonos.                                             |
| <b>SOLVENTES</b>                          |                                                                                |
| Removedor de barniz de uñas               | Acetona, Acetato de etileno                                                    |
| Removedor de pintura                      | Tolueno, Cloruro de metileno, Acetona, Acetato de etilo, Metil-isobutil-cetona |
| Adelgazador de pintura (Thinner)          | Petro-químicos, Ésteres, Acetona                                               |
| Gas o liquido encendedor                  | Tricloroetileno, Tricloroetano                                                 |
| Extintor de fuego                         | Butano, Isopropano, Nafta                                                      |
| Ambientadores para inodoros               | Naftaleno, Paradiclorobenzeno                                                  |
| Repelentes de insectos                    | Naftaleno, paradiclorobenzeno                                                  |
| <b>LIMPIADORES</b>                        |                                                                                |
| Desmanchadores                            | Xileno, Petroquímicos, Clorohidrocarburos.                                     |
| Lavado “en seco”                          | Tetracloroetileno, Tricloroetano                                               |
| Desengrasantes                            | Tetracloroetilo, Tricloroetano, Tricloroetano, Metanol, n-Hexano.              |
| <b>NITRITOS</b>                           |                                                                                |
| Poppers                                   | Nitrito de amilo                                                               |
| Limpiadores de video y cuero.             | Nitrito de butilo.                                                             |

Como se puede observar en nuestra tabla 1, vemos algunos de los compuestos químicos que más se usan en los diferentes ámbitos, además de que podemos observar que el tolueno es uno de los compuestos químicos que es más utilizado en productos y de más fácil acceso para las personas que los utilizan como recreación como lo es el pegamento. Además, que existen una variedad de compuestos químicos que están en contacto directo con las personas que lo utilizan día a día en su trabajo como lo son los trabajadores de pintura, que a pesar que no lo utilizan de forma recreativa están en constante exposición, agregando que en México no se tienen las mejores normas de seguridad ni los cuidados adecuados en estas áreas de trabajo.

Por todas estas características es que se volvió un tema de interés tanto social como médico, en México se iniciaron las primeras investigaciones epidemiológicas sobre el distinto uso de las diferentes drogas desde 1970. Una de las problemáticas más importante comenzó entre 2006 y 2009 con el consumo de inhalables, el consumo se detectó principalmente en mujeres. En 2012, los inhalables fueron la segunda droga más consumida por jóvenes de 12 a 17 años (Villatoro, Oliva, Mujica & Fregoso, 2015).

Los inhalables son sustancias consumidas por un determinado grupo social, la población en pobreza y exclusión social puesto que presentan mayor riesgo en cuanto a salud física y mental debido al consumo crónico. De acuerdo a la Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco 2016-2017, “en México la población de 12-65 años de edad incremento su consumo de “alguna vez” de 0.5% en 2002 a 1.1% en 2016”. Estos datos adquieren mayor preocupación en la población más afectada niños (11 años 2.3%) y jóvenes (49.0%), la mayoría de clases desfavorecidas. En el informe Anual de Sistemas de Vigilancia Epidemiológica de las Adicciones en México, los servicios de urgencias reportaron en 2016 un 3.9% de pacientes bajo el efecto de alguna droga, de los cuales el 2.1% habían consumido inhalantes (Marlene, Guzmán, Morales, Díaz & Dolores, 2020).

Existe otra forma en la que los inhalantes pueden afectar a la población, el cual es en el ambiente laboral, es decir una exposición ocupacional donde no hay una



intencionalidad en el consumo, el compuesto químico se encuentra en condiciones y espacio determinado, las cuales pueden ser ambientales o laborales. “Se menciona que los trabajadores europeos del sector industrial son más propensos al padecimiento de acuerdo con la actividad laboral desempeñada, estableciendo la siguiente clasificación” (Atilano-Barbosa, 2020).

Tabla 5: Niveles de exposición de toxicidad por solventes de acuerdo con la actividad laboral desempeñada. Extraída y Modificada de (Atilano-Barbosa, 2020).

| <b>Alta Exposición</b>                                                                                                                      | <b>Exposición Media</b>                                                                                       | <b>Baja Exposición</b>                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tintorería, serigrafía, impresión de huecograbado, pintura industrial, fabricación de plásticos reforzado con vidrio, fijación de azulejos. | Pintar casas, mecánica, procesos de ensamblaje con disolventes, elaboración de pinturas, limpieza industrial. | Operador de bomba de gasolina, operador de procesos químicos, técnico de laboratorio, limpiador de uso recurrente de pulidores. |

### **III.II. Efecto de los inhalantes**

Las sustancias químicas inhaladas se absorben con rapidez a través de los pulmones y llegan a la sangre donde son distribuidas rápidamente del cerebro y a otros órganos, a los pocos segundos de su inhalación el usuario experimenta su intoxicación, algunos de los efectos pueden ser: dificultad para hablar, incapacidad para coordinar movimientos, euforia y mareo. Además de padecer aturdimiento, alucinaciones y delirios. Cuando esta práctica se lleva a cabo por recreación, la intoxicación dura solo unos minutos por lo cual los usuarios tienden a repetir esta práctica en repetidas ocasiones para poder prolongar la euforia que estos provocan (NIDA, 2022).

No solo se ven afectadas las personas que lo utilizan como recreación sino a las personas en su ambiente laboral a la cual están expuestos, esta exposición se caracteriza por ser no intencional, debido a esto los factores que influyen en la afectación a estas personas son varios, el lugar donde laboran es decir si esta

ventilado, poco ventilado o incluso si está cerrado, aunado a estos también se debe de tener en cuenta el tipo de sustancia química a la cual se está exponiendo para poder ver el tipo de afecciones que puede tener (Hernández, 2022).

Los diversos estudios de investigación sobre las sustancias inhalables psicoactivas se han concentrado en identificar los mecanismos fisiológicos que actúan durante el consumo y lo refuerzan, el efecto sobre la estructura y la función del sistema nervioso, las conductas y habilidades cognitivas afectadas; los resultados muestran que la exposición crónica a inhalables produce efectos depresivos en el sistema nervioso (Hernández, 2022).

Dentro de los efectos a nivel neuro-psicológicos en personas de consumo crónico de inhalables, se han identificado daños cognitivos asociado a daño cerebral, en la memoria, la atención, la percepción, la exposición, la expresión verbal, el aprendizaje, la coordinación visomotora y las funciones ejecutivas. En el área motora se han encontrado alteraciones en la capacidad de movimientos rápidos y alternados, orientación del movimiento ocular, reflejos palmares anormales. Este conjunto de afectaciones ha sido encontrado con la ayuda de neuroimagen por resonancia magnética. Las cuales han dado como resultados atrofia en regiones de los ganglios basales, talámicas, cerebelosas y del tallo cerebral, de igual forma anormalidades en estructuras de la sustancia blanca como el cuerpo calloso, la cápsula interna y dilataciones de la sustancia blanca (Atilano-Barbosa, 2020).

Uno de los puntos más importantes en cuanto los efectos de los inhalantes en el cuerpo humano es el tiempo de exposición a los solventes, esto puede provocar una respuesta aguda o un efecto crónico a largo plazo (Hernández, 2022)

Tabla 6: Efectos del tiempo de exposición a inhalantes. Extraído y modificado de (Hernández, 2022).

| Efectos Agudos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Efectos Crónicos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dolor de cabeza</li> <li>• Mareo</li> <li>• Arritmias Cardíacas</li> <li>• Pérdida de conciencia</li> <li>• Convulsiones</li> <li>• Alucinaciones</li> <li>• Irritación de nariz y garganta</li> <li>• Fatiga</li> <li>• Deficiencia de la coordinación Motora</li> <li>• Espasticidad muscular</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiencias cognitivas en memoria, atención y habilidades visoespaciales.</li> <li>• Atrofia cerebral</li> <li>• Ataxia cerebelosa</li> <li>• Deficiencia Visual</li> <li>• Leucemia</li> <li>• Ensanchamiento ventricular</li> <li>• Pérdida de la diferencia entre sustancia blanca y sustancia gris.</li> <li>• Pérdida auditiva</li> <li>• Perdida de coordinación y fuerza muscular.</li> </ul> |

El abuso crónico de disolventes volátiles, tales como el tolueno o naftaleno, daña la capa protectora que rodea las fibras nerviosas del cerebro. Esta destrucción extensiva de las fibras nerviosas es clínicamente similar a la que se ve en enfermedades neurológicas como la esclerosis múltiple. Los efectos neurotóxicos del abuso prolongado de inhalantes incluyen síndromes neurológicos que reflejan daños a partes del cerebro que involucran el control cognitivo, motriz, visual y auditivo, las anomalías cognitivas pueden ir de un leve deterioro a una demencia grave (Volkow, 2011).

### III.III Lóbulo longitudinal y lóbulo uncinado

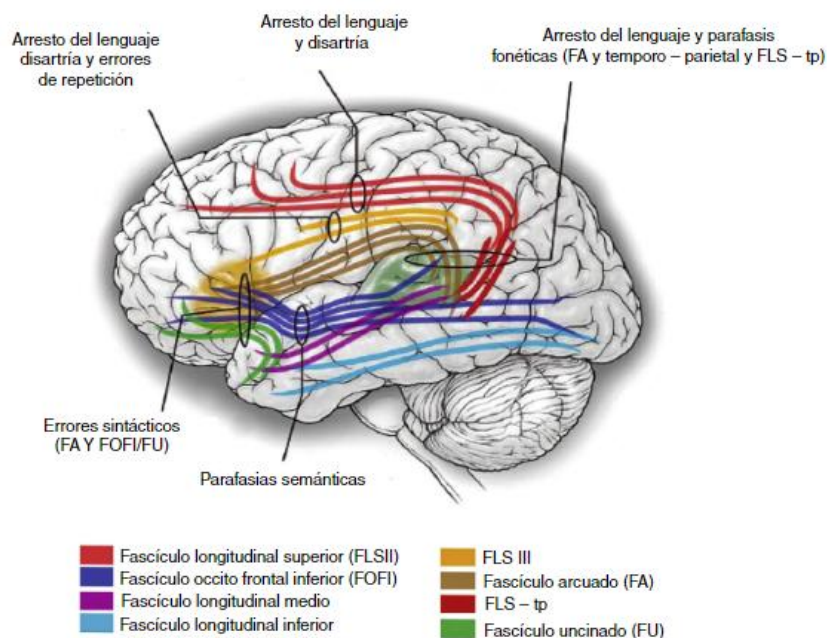
El cerebro es un órgano complejo perteneciente al cuerpo humano, se encuentra contenido en la cavidad craneal, y representa la parte más voluminosa del encéfalo. “El cerebro está dividido por dos hemisferios, a los cuales los divide la fisura longitudinal cerebral, mientras que la fisura transversal cerebral lo divide del mesencéfalo” (Latarjet & Ruiz, 2004).

Así mismo, cada hemisferio está dividido por cuatro lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital. La superficie de la corteza cerebral forma la capa más externa

del cerebro y está formada por materia gris, la cual contiene los cuerpos de las neuronas. “Debajo de la sustancia gris de la corteza cerebral de la superficie, se encuentra la sustancia blanca formada por las fibras nerviosas que llegan y salen de la corteza “(Tresguerres & López, 2009).

Los avances en neurociencias han permitido a lo largo del tiempo la identificación de la representación cortical de las áreas del sistema nervioso central de una manera más flexible y dinámica. En 1961, Broca identificó áreas las cuales llevan su nombre y a partir de ahí fueron identificados fascículos que conectan áreas de la corteza (Chang, 2015).

Según Palacios y Clavijo (2016) estas áreas de reciente aplicación han sido identificadas por técnicas de electro-cortico-estimulación. Estas áreas son denominadas fascículo longitudinal superior, fascículo occito-frontal inferior, fascículo longitudinal medio, fascículo longitudinal inferior, FLS III, fascículo arcuado, fascículo uncinado. Se observa en la Ilustración 1 la ubicación de los fascículos.



*Ilustración 1.- Identificación de fascículos en el cerebro (Palacios & Clavijo, 2016)*

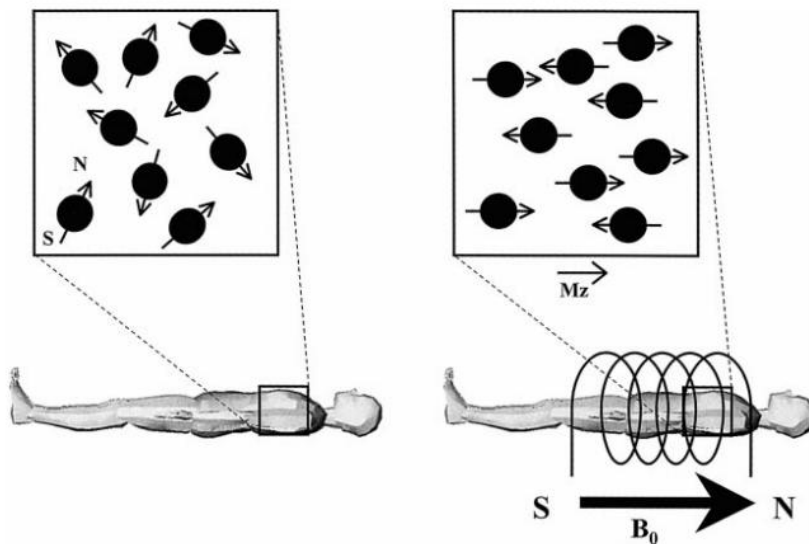
“El fascículo longitudinal inferior es un conjunto de fibras de materia blanca que se encarga de interconectar regiones frontales y occipitales, pasando en forma horizontal paralela al cuerno temporal del ventrículo lateral.” (Palacios & Clavijo, 2016). En esta zona está representada la memoria semántica, tiene un rol importante en la denominación de objetos vivos. También se conoce en el sistema visual como la vía del qué (González & Hornauer-Hughes, 2014). Este fascículo es de suma importancia en el reconocimiento, en la participación del reconocimiento visual y el procesamiento de su componente afectivo (Comes-Fayos J, 2018).

El fascículo longitudinal superior es un tracto dorsal que conecta varias regiones relacionadas con el lenguaje. Está compuesto por 5 componentes superiores corresponden a fibras antero-posteriores que van desde el área frontal y una áreas específicas. El primer componente llega al lóbulo parietal superior. El segundo finaliza en la circunvolución angular. El tercero concluye en la circunvolución supramarginal. El cuarto es el que conocemos como fascículo arqueado conecta el área de Wernicke con el área de Broca. Esta área tiene una conexión bidireccional que es fundamental para la repetición tanto de palabras como enunciados, es de suma importancia para el aprendizaje del lenguaje. El quinto conecta la región temporal con la parietal. Todos estos subtractos están relacionados con diferentes funciones del lenguaje tales como fonología, evocación léxica y articulación (González & Hornauer-Hughes, 2014). El fascículo longitudinal medial es un haz de fibras cruzadas, en cada lado del tronco cerebral, es la principal conexión central para el nervio oculomotor, el nervio troclear y el nervio aductor (*Fascículo Longitudinal Medial \_ AcademiaLab*, s. f.). El trayecto de este fascículo es de suma importancia para llevar la información del movimiento de los ojos (Faccio, 1981). Este fascículo se relaciona más a los núcleos de pares craneales que afectan el movimiento de los ojos, que sería una gran afección para que la persona pueda desempeñar una acción laboral. Se observa que estos fascículos son de suma importancia ya que conectan diferentes zonas del cerebro y pueden traer grandes problemas si se llegan a afectar, ya que afectan zonas distintas que realizan actividades distintas en el cerebro que permiten el buen funcionamiento de la persona.

Fascículo uncinado conecta la zona temporal anterior con el lóbulo frontal, tendría implicaciones en la nominación de nombres propios y comprensión (González & Hornauer-Hughes, 2014). Además, posee diversas implicaciones en la transmisión de la información. Algunas funciones particulares sobre diversos procesos cognitivos del fascículo uncinado son: memoria, lenguaje y procesamiento emocional.

### **III.IV Resonancia Magnética (RM)**

La resonancia magnética es una técnica de imagen que no es invasiva hacia el paciente, la cual no utiliza radiaciones ionizantes, en su lugar se utilizan potentes imanes y señales de radiofrecuencia de baja energía. El principio físico de la resonancia magnética se basa en la mecánica cuántica, cuando un tejido se somete a un campo magnético. Es decir, “la resonancia magnética utiliza imanes los cuales emiten un campo magnético, este campo provoca que los protones del cuerpo intenten alinearse a este. Así mismo, se pulsa una corriente de radiofrecuencia en el paciente, se estimulan los protones y provoca que estos giran fuera de equilibrio, ejerciendo fuerza en contra del campo magnético. Después, se apaga el campo de radiofrecuencia provocando que se libere energía y los sensores de la resonancia son capaces de detectar la energía liberada al mismo tiempo que los protones se realinean con el campo magnético”, como se observa en la imagen 2. (Van Geuns, 1999)



*Ilustración 2: Ejemplificación de la exposición de un campo magnético en el cuerpo y la alineación de los protones del cuerpo en dirección del campo magnético imagen obtenida de ( Van Geuns, 1999)*

Por lo cual básicamente, la resonancia magnética se fundamenta en la absorción de energía por un núcleo magnético activo, el cual debe de tener dos características principales: un número impar de protones y un espín, el núcleo más utilizado es el hidrógeno, el cual es muy útil por su abundancia en el cuerpo humano. Cuando el núcleo se encuentra en un campo magnético, es capaz de absorber energía de dicho campo a una frecuencia específica y retornarla a una bobina que se utiliza como detector cercano a la misma frecuencia. Esta señal que se transfiere y decae, con constantes de tiempo diferentes para cada tejido (Hernández, 2009).

Bajo un campo magnético intenso, los núcleos empiezan a realizar un movimiento de precesión. Alrededor de un eje formando un cono y girando sobre sí mismo. Para conocer la frecuencia a la cual los núcleos precesan, se utiliza la ecuación de Larmor (Eq 1). La cual expresa que la frecuencia de precesión es proporcional al valor de campo magnético percibido (Hernández, 2009).

$$\omega_0 = \frac{\gamma * B_0}{2\pi}$$

*Eq. 1: Ecuación de  
larmor. Extraída de  
(Hernández, 2009).*

Debido a esto el tejido se magnetiza con un valor de magnetización neta  $M_0$  en la misma dirección que el campo magnético. En los tejidos del cuerpo humano, la magnitud  $M_0$  es proporcional a la del campo magnético y se define por la ecuación 2 (Eq.2).  $B_0$  es la intensidad del campo magnético y  $\chi$  es el valor de susceptibilidad magnética de volumen (Ponce, 2021).

$$M_0 = \chi B_0$$

*Eq 2: Ecuación de  
magnetización  
Extraída de (Ponce  
Martínez, 2021) .*

La base para la obtención de imágenes por resonancia magnética es la manipulación de la magnetización neta mediante un pulso de energía de radiofrecuencia que es usado como un pulso de excitación, el cual tiene diferentes frecuencias a lo largo de un ancho de banda: Los protones absorben energía a una determina frecuencia  $\omega_0$  (Eq. 1). Nos da como resultado que el vector de magnetización neta gire y se aleje de su orientación de equilibrio (Ponce, 2021). Cuando el pulso de radiofrecuencia decae, los protones reemiten la energía absorbida a una frecuencia  $\omega_0$ , los cuales vuelen a realinearse volviendo a su posición original, la magnetización neta precesara alrededor del campo magnético. Lo cual induce un voltaje en la bobina receptora, el cual es conocido como



decaimiento de libre inducción (FID), el cual decae con el tiempo a media que los protones reemiten energía absorbida, a lo cual llamamos relajación (Ponce, 2021).

Los diferentes tiempos de relajación se miden para una muestra completa de tejido como una media estadística de la relajación de todos los protones, Estos tiempos de relajación se miden para la materia gris o para el líquido cefalorraquídeo como muestra de todo el volumen en lugar de medirse para cada molécula individual. Entonces como resultado, la formación de la imagen por resonancia magnética se da entonces como un mapa de la fase y la frecuencia de los protones en cada punto de la imagen. La intensidad de los pixeles de la imagen es proporcional al número de protones contenidos dentro de cada elemento de volumen, al cual conocemos como vóxel. Dado por los tiempos de relajación para los tejidos (Ponce, 2021).

Para el fin de este trabajo se utilizó la resonancia magnética por método DTI. El método de DTI aplicado a imágenes médicas es un método relativamente nuevo y no invasivo, de resonancia magnética. Este método consiste en cuantificar el grado de anisotropía de los protones de agua en los tejidos. Es así que el tejido cerebral normal o el estado de difusión anisotrópica se asocia con el grado de direccionalidad del agua y la integridad de los tractos de fibras de sustancia blanca dentro del tejido cerebral. De tal manera que los haces muy densos de fibras nerviosas muestran mayor grado de anisotropía, por otro lado, la sustancia gris tiene menor grado de difusión anisotrópica. Por consiguiente, FA es un parámetro que se utiliza para indicar la alteración en la difusión del agua, relacionado con la disrupción, edema o destrucción de fibras de sustancia blanca (Meli, 2005).

La anisotropía es la propiedad del tejido cerebral normal que depende de la direccionalidad de las moléculas de agua y de la integridad de las fibras de sustancia blanca. Los tractos muy densos muestran un mayor grado de anisotropía mientras que la sustancia gris tiene menor grado respecto de la sustancia blanca. FA es una variable numérica cuyos valores oscilan entre 0 (máxima isotropía), como en los ventrículos normales, donde el agua se moviliza libremente y 1 (máxima anisotropía

por restricción en el movimiento del agua), como por ejemplo a lo largo de la evolución de un infarto cerebral (Romero, 2007).

“Un tensor de difusión es una representación 3D de ADC. Un ADC es el coeficiente de difusión que “aparece” a partir de la observación de un entorno heterogéneo como lo son los tejidos biológicos. Este coeficiente es una aproximación, es una media de conjunto de la rapidez con que difunde el agua en un entorno de difusión complejo “(DSI Studio,2020). De esta manera el ADC puede no ser uniforme en todas las orientaciones y por consecuencia se necesita modelar la diferencia de ADC en diferentes orientaciones. Para poder entender el modelo tensorial se puede comparar con una distribución gaussiana en 3D. A partir de este punto tenemos un análisis propio sobre rendimiento tensoriales como muestra la ilustración 3 los cuales son (DSI Studio,2020).

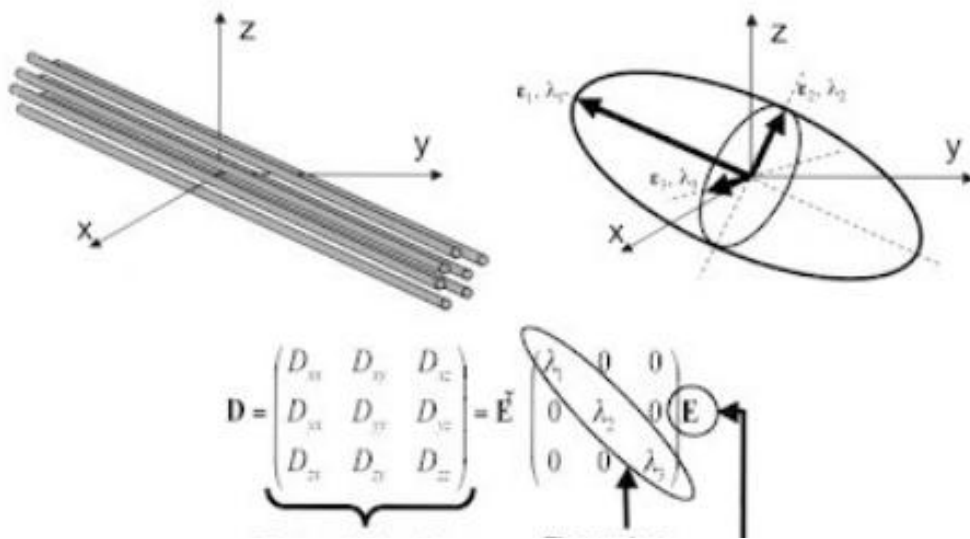


Ilustración 3.- "Imágenes de tensor de difusión de la materia blanca cerebral: una revisión pictórica de la física, la anatomía del tracto de fibra y los patrones de imágenes tumorales" Extraída de (DSI Studio,2020).

AD, denotado por  $\lambda$  paralelo, cuantifica la rapidez con que el agua se difunde a lo largo de las fibras axonales. Se estima por  $\lambda_1$ , el primer valor propio del tensor.

RD, denotado por  $\lambda$  perpendicular, cuantificó qué tan rápido se difunde el agua a través de los haces axonales. Se estima por  $(\lambda_2 + \lambda_3)/2$ , el promedio del segundo y tercer valor propio del tensor. DM es el promedio de difusividad de los tres valores propios del tensor. A menudo se considera como una aproximación del ADC general. FA es una fracción derivada de la relación entre  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$ . Tiene un valor comprendido entre 0 (isotrópico) y 1 (totalmente anisótropo) (DSI Studio, 2020).

“Las fibras que tienen una buena mielinización tienen FA alta y un RD bajo”(Chang, 2017), en cambio cuando; “hay una desmielinización el RD tiene cambios drásticos” (Song, 2002) y cuando “existe una pérdida axonal, el valor de AD decae” (Song, 2003).

Para poder realizar el análisis de los valores vistos previamente, se utilizará el software DSI Studio es una herramienta de software de tractografía que mapea las conexiones cerebrales y correlacionan los hallazgos con trastornos neuropsicológicos. Es una implementación colectiva de varios métodos de resonancia magnética de difusión, como imágenes de tensor de difusión, imágenes de muestreo q generalizadas, reconstrucción difeomórfica del espacio q, conectometría de resonancia magnética de difusión y seguimiento de fibra determinista generalizado. (DSI Studio, 2020).

### **III.V Estudio Estadístico**

Una prueba estadística tiene la finalidad de establecer la probabilidad de que una conclusión obtenida a partir de una muestra sea aplicable a la población de la cual se obtuvo, por este motivo es importante seleccionar la prueba estadística acorde al estudio. Se establece una secuencia práctica para elegir la prueba

estadística apropiada para cada protocolo de investigación (Flores-Ruiz , 2017).

**Los aspectos necesarios para poder elegir la prueba son los siguientes:**

1. Diseño de investigación
  1. Un grupo
    1. Estadística descriptiva
  2. dos o más grupos
    1. Estadística descriptiva y estadística inferencial
3. Escala de medición
  1. Variables cualitativas: ordinal o nominal
    1. Estadística no paramétrica
  2. Variables cuantitativas discontinuas
    1. Estadística no paramétrica
  3. Variables cuantitativas continuas
    1. Tipo de distribución de los datos
      1. Sin distribución normal
        1. Estadística no paramétrica
      2. Distribución normal
        1. Estadística paramétrica

Como primer paso, se debe realizar el diseño de la investigación, como primer punto tenemos cuando solamente existe un grupo y el objetivo de la investigación únicamente es especificar una o más características de dicha población, el estudio se denominará descriptivo. En contraparte, los estudios comparativos se llevan a cabo con más de dos grupos. (Flores-Ruiz, 2017).

El segundo punto por considerar en la selección es el número de mediciones de las variables resultantes. El tercer punto es la escala de mediciones de las variables, es decir definir la naturaleza de cada uno de los datos o las mediciones que se realizan durante la investigación, cualitativas o cuantitativas. A su vez, si son cualitativas pueden ser nominales u ordinales. Si son cuantitativas pueden ser continuas o discontinuas. En cuarto punto se necesita saber si la prueba estadística es paramétrica o no paramétrica, para este punto es importante definir la distribución de los datos si es normal o anormal, una distribución normal tendrá un comportamiento semejante a la prueba de Gauss. Para poder determinar la distribución de los datos existen diferentes pruebas estadísticas como Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk o sesgo y curtosis. Lo contrario será una prueba no paramétrica.

Como último punto es importante es seleccionar la prueba estadística adecuada, tomando en cuenta los cuatro puntos anteriores para tomar la prueba adecuada, de acuerdo a la tabla 3 (Flores-Ruiz, 2017).

*Tabla 4.- Prueba estadística de acuerdo con los objetivos del estudio y la escala de medición de las variables. Extraído de (Flores-Ruiz, 2017).*

| <b>Objetivos del estudio</b> | <b>Variables y distribución</b>                                 | <b>Tipo de muestra</b>                           | <b>Prueba recomendada</b>                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Comparar 2 promedios         | Cuantitativas, distribución normal                              | Muestras Relacionadas<br>Muestras independientes | T de Student<br>T de Student                                |
|                              | Cuantitativas, discontinuas y continuas sin distribución normal | Muestras Relacionadas<br>Muestras independientes | Wilcoxon<br>U Mann Whitney                                  |
| Comparar $\geq 3$ grupos     | Cuantitativas, distribución normal                              | Muestras Relacionadas<br>Muestras independientes | Análisis de varianzas (ANOVA) de 2 vías<br>ANOVA de una vía |
|                              | Cuantitativas, discontinuas y continuas sin distribución normal | Muestras Relacionadas<br>Muestras independientes | Friedman<br>Kruskal-Wallis                                  |
| Comparar 2 grupos            | Cualitativas nominales y ordinales                              | Muestras Relacionadas<br>Muestras independientes | McNemar<br>Chi-Cuadrada                                     |
| Comparar $\geq 3$ grupos     | Cualitativas nominales y ordinales                              | Muestras Relacionadas<br>Muestras independientes | Q de Cochran<br>Chi cuadrada                                |
| Correlación de 2 variables   | Cuantitativas, distribución normal                              | Muestras independientes                          | Coeficiente de correlación de Pearson                       |
|                              | Cuantitativas, discontinuas y continuas sin distribución normal | Muestras independientes                          | Coeficiente de correlación de Spearman                      |

Todo el estudio estadístico se realizará en la interfaz de R pero a través de la entrono de Rstudio, el cual es un entorno de desarrollo integrado para R.

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la exposición que se tiene en la sociedad de forma no recreativa y en los centros de trabajo debemos entender el mecanismo de daño preciso que ocurre cuando existe una exposición a inhalantes o solventes en los centros de trabajo. Para así, poder dar una pronta y mejor detección de daños en dos fascículos principales del cerebro por el uso de inhalantes. Por medio de una técnica que nos permita encontrar una relación entre los valores FA, AD y RD que se obtienen al procesar las imágenes por DTI. Por lo visto anteriormente los inhalantes provocan fuertes problemas en el cerebro que afectan tanto la conducta, como habilidades motoras de una persona. Se puede apreciar que el daño está en dos sentidos; el primero, según las estadísticas, a los niños y jóvenes más desprotegidos de nuestra sociedad. El segundo a todos los trabajadores, que podrían no saber los efectos de una exposición crónica. Sería trascendental poder encontrar una técnica, estandarizada, para poder diagnosticar de forma rápida y con precisión lesiones graves en las personas, saber cómo tratarlas y poder impactar con información sólida para generar mejores estrategias para el uso de inhalantes en el trabajo.

## **V. OBJETIVOS**

### **V.I Objetivo General**

Realizar una comparación de la integridad de la sustancia blanca de un grupo de personas expuestas a inhalantes frente a un grupo control no expuesto a inhalantes.

### **V.II Objetivos específicos**

- Obtener los parámetros de FA de diferentes áreas del cerebro mediante el procesamiento de imágenes del cerebro de personas expuestas a inhalantes y personas no expuestas, mediante el uso del software DSI Studio.
- Obtener los parámetros de AD de diferentes áreas, mediante el procesamiento de imágenes del cerebro de personas expuestas a inhalantes y personas no expuestas, mediante el uso del software DSI Studio.
- Obtener los parámetros de RD de diferentes áreas, mediante el procesamiento de imágenes del cerebro de personas expuestas a inhalantes y personas no expuestas, mediante el uso del software DSI Studio.
- Comparación de los valores AD, RD y FA de las imágenes de personas expuestas a inhalantes frente a los valores de las imágenes de las personas no expuestas para la obtención de una relación entre los parámetros mediante un análisis de estadística deductiva, con métodos estadísticos utilizando el software R-Studio.



## **VI. HIPÓTESIS**

- La exposición a inhalables afectará la sustancia blanca en los fascículos longitudinales y uncinado, es decir habrá una alteración en esta sustancia, por factores como densidad axonal, mielinización y homogeneidad en la orientación axonal.
- Se verá afectado el parámetro de FA de los fascículos longitudinales y uncinado, por lo que se espera que el valor FA de las imágenes de las personas Caso (expuestas) tengan un valor menor, en comparación con el valor de las imágenes de los controles.
- El parámetro AD de los fascículos longitudinales y uncinado se espera que tenga valores más bajos en los Casos en comparación con los Controles.
- El parámetro RD, de los fascículos longitudinales y uncinado, en los casos debe de ser muy distinto de los valores de los controles, debido a la desmielinización, provocando que el RD cambie drásticamente.

## **VII. METODOLOGÍA**

### **VII.I Obtención de la base de los datos.**

Se utilizó una base anonimizada y codificada propiedad del Instituto de Neurología de la Universidad Nacional Autónoma de México, contando con la autorización de los investigadores responsables para su utilización en este proyecto. La base de datos contiene imágenes estructurales-anatómicas de alta resolución en estado de reposo de dos grupos de sujetos, un grupo de 7 sujetos (caso) con una media de edad de 31.5 años, expuestas de forma ocupacional a vapores de sustancias derivadas del tolueno con cinco o más años de exposición laboral de al menos 20 horas por semana. 15 sujetos control que fueron pareados por sexo, edad y escolaridad. Los sujetos dijeron no consumir ningún tipo de droga ilícita o medicamento controlado, además de consumo de alcohol y tabaco bajo.

Cada sujeto firmó un consentimiento informado revisado por y aceptado por el comité de Bioética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México, haciendo constar que todos los procedimientos cumplen con los estándares éticos según la declaración de Helsinki revisada en 2008.

Las imágenes fueron obtenidas con un equipo de resonancia magnética 3.0 Teslas Philips Achieva con una antena de 32 canales

### **VII.II Pre-procesamiento de los datos**

Se utilizó el software DSI Studio para realizar el preprocesamiento de los datos y obtener los valores deseados. Se realizaron los siguientes pasos para poder procesar las imágenes y obtener los parámetros.

1. Para cada escaneo se convirtieron los datos de difusión de los pacientes (estos datos están en formatos DICOM) en un archivo SRC.

Como primer paso antes de usar el archivo DICOM se cambió el nombre con el siguiente comando [PasoB1: Cambiar el nombre de DICOM en las subcarpetas], para asignar una carpeta raíz que contenga todos los archivos DICOM que se van ordenando. DSI Studio cambio el nombre de los archivos DICOM y los coloco en diferentes carpetas de acuerdo con sus secuencias. Después de que se cambió el nombre de los archivos DICOM, utilizamos el siguiente comando [Step 1: Abrir imágenes de origen] esto en la ventana principal y se seleccionamos los archivos de imagen, después de analizar los archivos DICOM, el software presento una nueva ventana con una tabla de valores b, se monstro una tabla extraída de los encabezados de DICOM (también se pueden asignar una tabla de vectores diferentes usando el menú superior) se aceptara (OK) para generar un archivo SCR.

2. Como siguiente paso se realizó un control de calidad del archivo SRC para garantizar su integridad y calidad. Se utilizo en el menú principal [QC1:Control de calidad de archivos SRC] y se seleccionó la carpeta que contiene los archivos SRC, DSI Studio proporciona un informe, en el cual lo primero que se comprueba es la coherencia de la dimensión de la imagen, la resolución, el recuento de DWI y el recuento de proyectiles y como segundo que se verifica es la “correlación de DWI vecino”, el cual calcula el coeficiente de correlación de volúmenes DWI de b baja que tienen una dirección de gradientes similares, una correlación más alta indica buena calidad y el valor disminuirá si hay un artefacto de corriente parasita o cualquier problema de la bobina que pueda afectar las señales de difusión.
3. Después de realizar el control de calidad del archivo SRC se reconstruyó cada archivo SRC usando un método de reconstrucción DTI, GQI o QSDR. En el menú principal del software con el siguiente paso [Step T2: Reconstrucción] y se seleccionó el archivo .src, se abrirá una nueva ventana donde se deberá elegir una máscara que servirá para filtrar la región de fondo, aumentar la eficacia de la reconstrucción y facilitar una mayor

visualización, también en el apartado Step T2b (1) se eligió el método de reconstrucción y por último se da clic en el botón de correr reconstrucción para poder obtener un archivo FIB.

4. Se cargó el archivo FIB, es decir en el menú principal se utilizó el siguiente paso [Step3: Fiber tracking] y se visualizó la imagen del tracto, para poder dar un seguimiento a una cierta área en específico o asignar una región existen diferentes formas de hacerlo. Se puede dibujar manualmente una región, cargar una región desde un archivo o cargar la región desde un atlas, la forma más eficiente es desde un atlas por esta razón se utilizó un atlas el cual cumplió con las regiones de interés. Se utilizó el atlas HCP842-tractography, el cual nos dio la opción de elegir qué región de la imagen es la que queremos visualizar, mostró una lista de todas las regiones en las cuales el atlas divide el cerebro, se eligieron las zonas de interés las cuales fueron los fascículos longitudinales Superior, Medio e inferior, de los dos hemisferios del cerebro, además del fascículo uncinado en sus dos porciones derecha e izquierda, por lo cual tenemos 8 zonas a analizar, le daremos agregar y se mostró en nuestra ventana principal las regiones seleccionadas, se observarán y manipularán cada una de las regiones.
5. Una vez que asignamos las diferentes regiones se obtuvieron el valor promedio de los índices de difusión, se pueden agregar más medidas si se requiere desde el menú principal [Región] [Estadísticas], se utilizara “mostrar detalles” para ver los resultados, los resultados se pueden cargar a Excel o cualquier tabla para análisis de datos.

### **VII.III Análisis de los datos**

El análisis para poder obtener esa relación de los datos entre personas expuestas y personas control consistió en un análisis estadístico para poder comparar las medias de los datos y poder observar si existe relación de estos datos o si existe una variación significativa para poder determinar que si existe una afección en personas expuestas.

Para el análisis estadístico se utilizó el lenguaje R a través de su entorno de desarrollo integrado R-Studio para un mejor manejo de la información.

Para la finalidad de este proyecto, de acuerdo a la necesidad y datos que se obtuvieron. Se seleccionó la prueba estadística adecuada. Como primer punto se eligió el objetivo del estudio, comparar 2 promedios de variables cuantitativas, por necesidad del proyecto de acuerdo a los datos obtenidos, se utilizaron dos tipos de distribución, normal y sin distribución normal (lo cual observamos en los resultados del estudio), nuestras muestras fueron independientes en ambos casos por lo cual nos da como resultado que utilizaremos una prueba t de Student para pruebas con distribución normal de muestras independientes y una prueba U Mann Whitney para muestras independientes pero con una distribución no normal. Para el caso de ambas pruebas se utilizó un valor de significancia p-valor corregido de 0.05.

Para este proyecto, se hace referencia al grupo de sujetos expuestos de forma ocasional a inhalantes como caso, así como al grupo de sujetos pareados como control.

## VIII. RESULTADOS

Como primer punto se realizaron gráficas de comparación de los valores de los controles y los casos para observar el comportamiento de los datos y ver si este cumplía con los datos esperados.

Como segundo paso, Para el análisis estadístico, se comparó 2 medias o medianas de variables cuantitativas, ya que buscamos encontrar si existe una diferencia significativa en los valores obtenidos mediante sus medias o medianas, esto va a depender si se tiene una variable paramétrica o no paramétrica.

- Se realiza una prueba de normalidad para poder determinar el comportamiento de los datos si es normal o anormal, con p-valor de 0.05. Es decir, se plantea que:

$H_0 > 0.05$ ; Nuestra hipótesis, si el p-valor  $>$  a 0.05 los datos tienen una distribución normal.

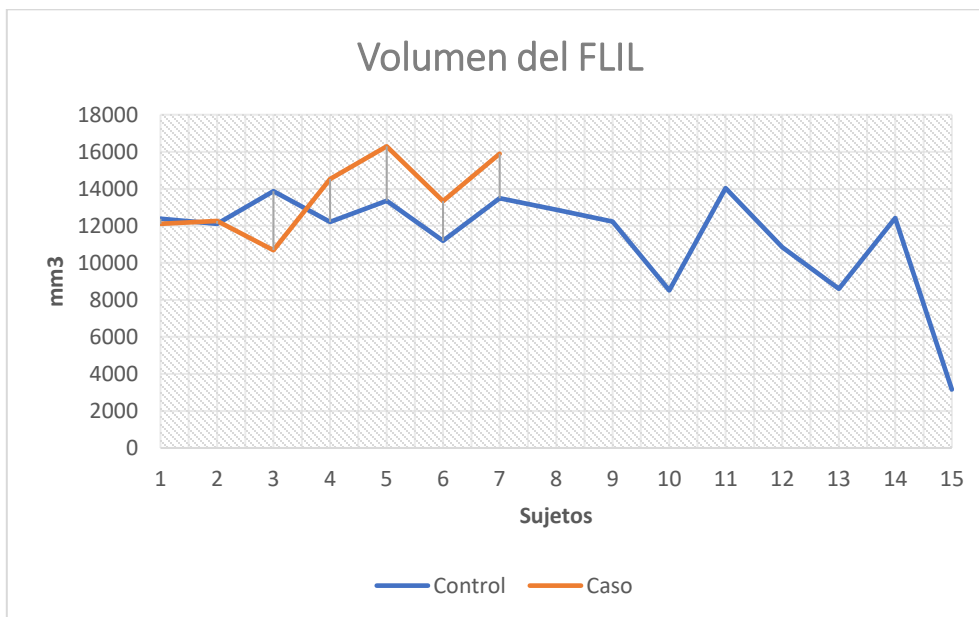
$H_1 < 0.05$ ; Nuestra hipótesis alternativa, si el valor de p-valor  $<$  a 0.05 los datos tienen un comportamiento anormal

Con base en estos resultados se decide si las variables son paramétricas o no paramétricas para poder aplicar la prueba adecuada.

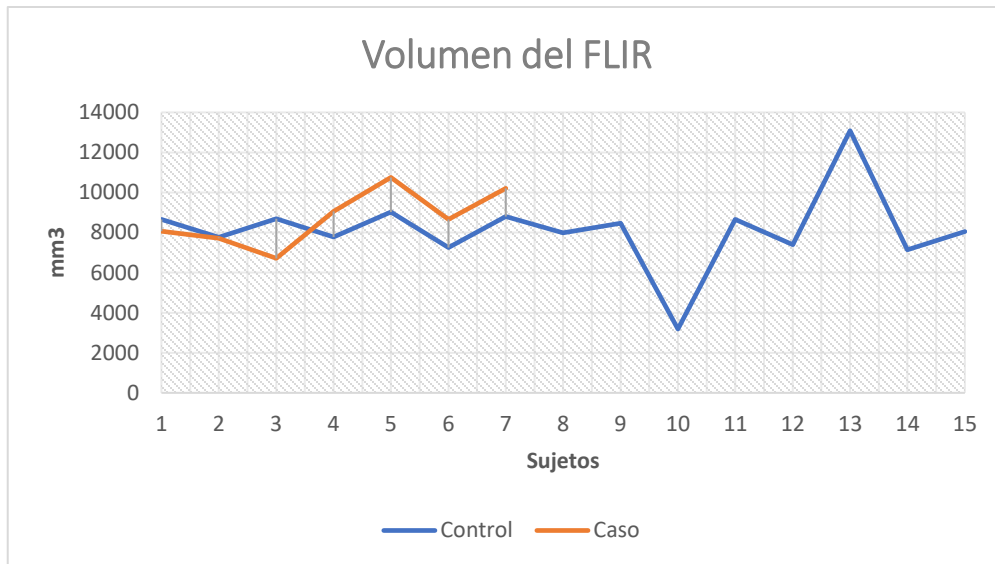
- Si la prueba es paramétrica, se realizarán dos puntos
  - Una comparación de varianzas para saber si hay una relación de las varianzas o no. Y que, la prueba t-de Student nos pide este dato para realizar la prueba
  - Después se aplicará la prueba t-de Student donde:
    - $H_0 > 0.05$ ; Nuestra hipótesis, si el p-valor  $>$  a 0.05 no se muestran una diferencia significativa en los datos, lo cual nos indica que los datos se comportan de manera muy similar entre los dos grupos
    - $H_1 < 0.05$ ; Nuestra hipótesis alternativa, si el valor de p-valor  $<$  a 0.05 se muestran diferencia significativa de los datos, lo cual nos indica que los datos se comportan de manera diferente entre los dos grupos.
- Si la prueba es no paramétrica, se realizarán lo siguiente
  - Se aplicará la prueba U Mann Whitney donde:

- $H_0 > 0.05$ ; Nuestra hipótesis, si el p-valor  $> 0.05$  no se muestran una diferencia significativa en los datos, lo cual nos indica que los datos se comportan de manera muy similar entre los dos grupos
- $H_1 < 0.05$ ; Nuestra hipótesis alternativa, si el valor de p-valor  $< 0.05$  se muestran diferencia significativa de los datos, lo cual nos indica que los datos se comportan de manera diferente entre los dos grupos.

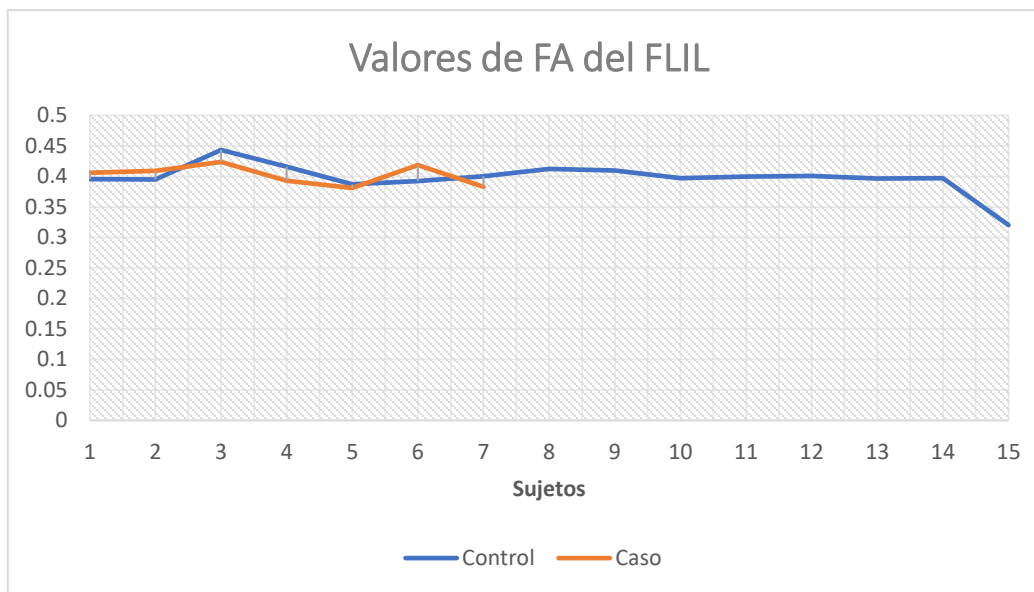
### VIII.I Fascículo Longitudinal Inferior Izquierdo y Derecho



Gráfica 1.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles.

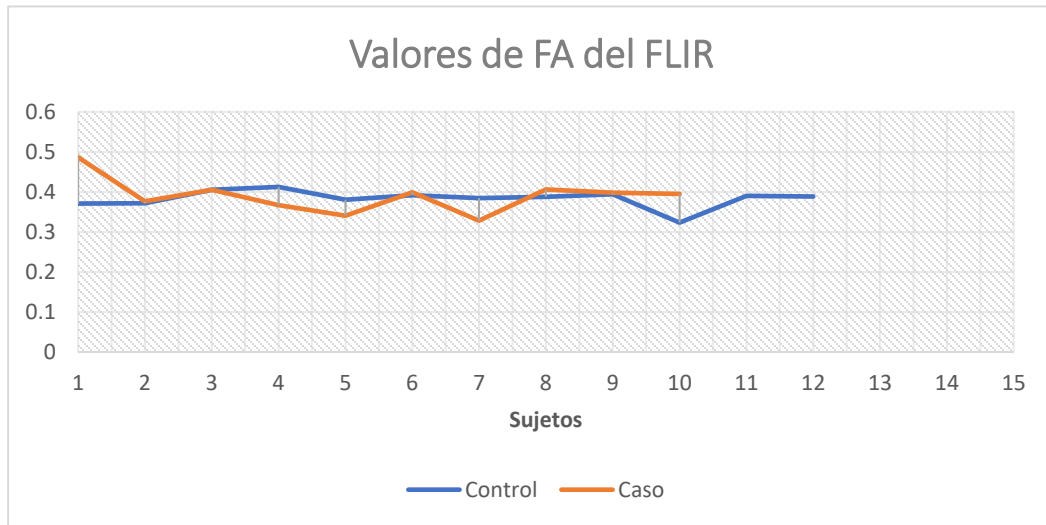


*Gráfica 2.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles*

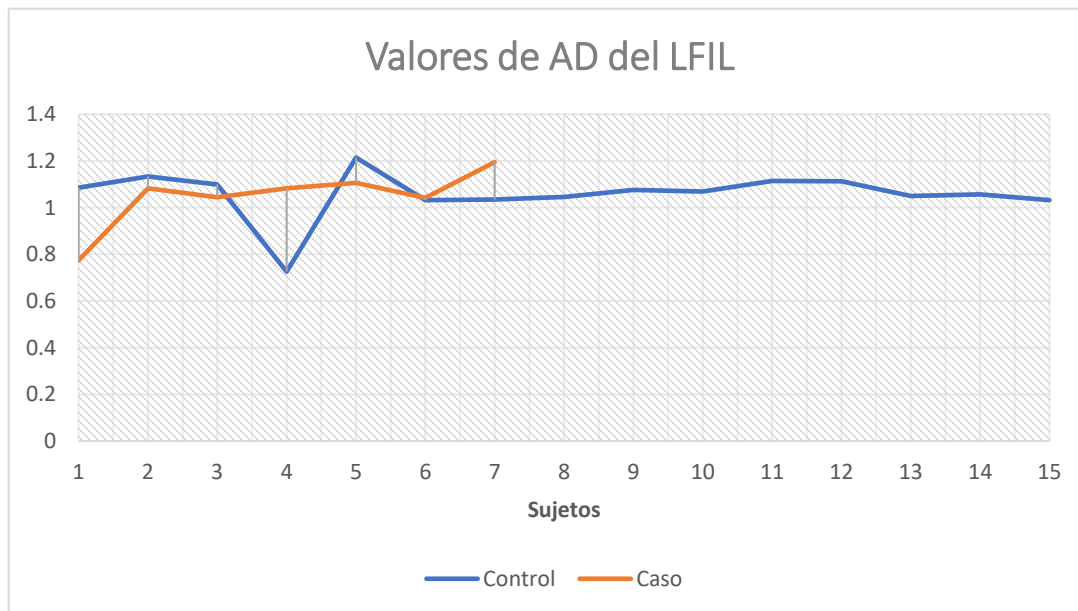


*Gráfica 3.- Comparación gráfica de FA del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles*

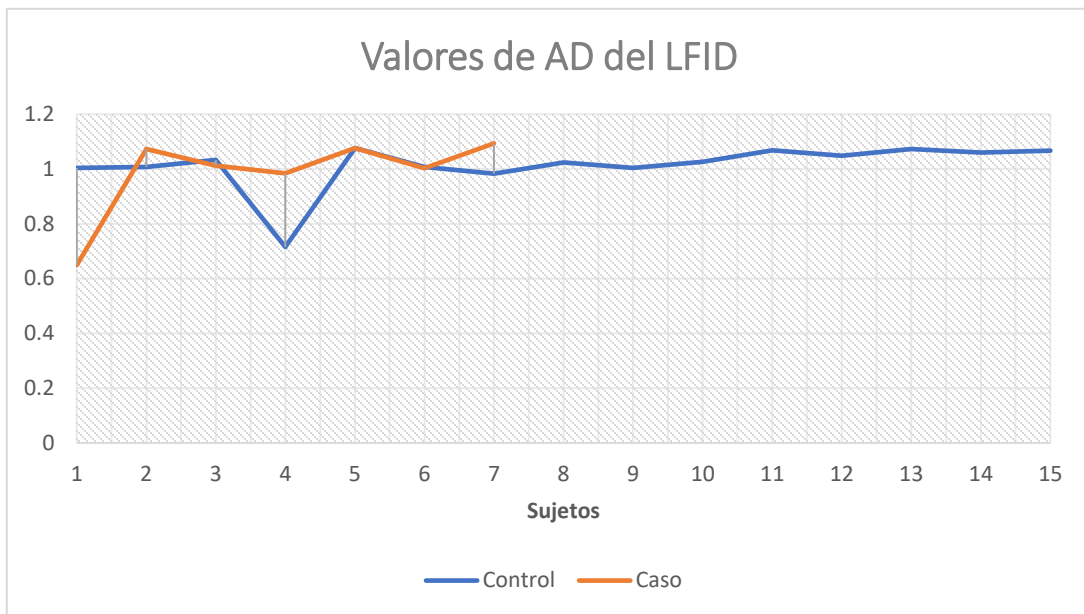




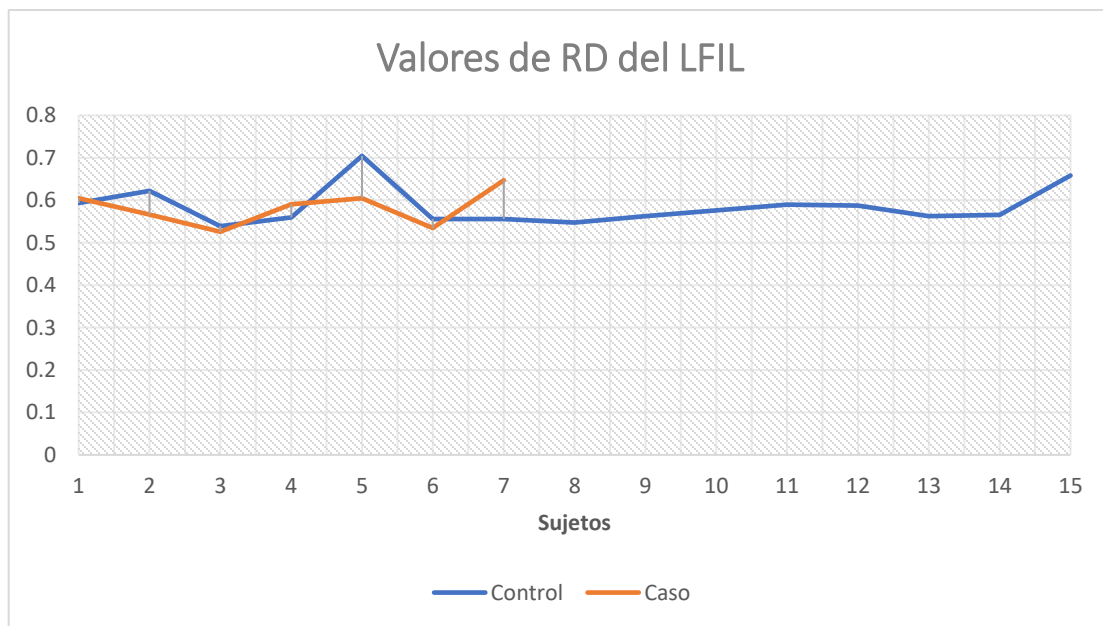
Gráfica 4.- Comparación gráfica de FA del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles



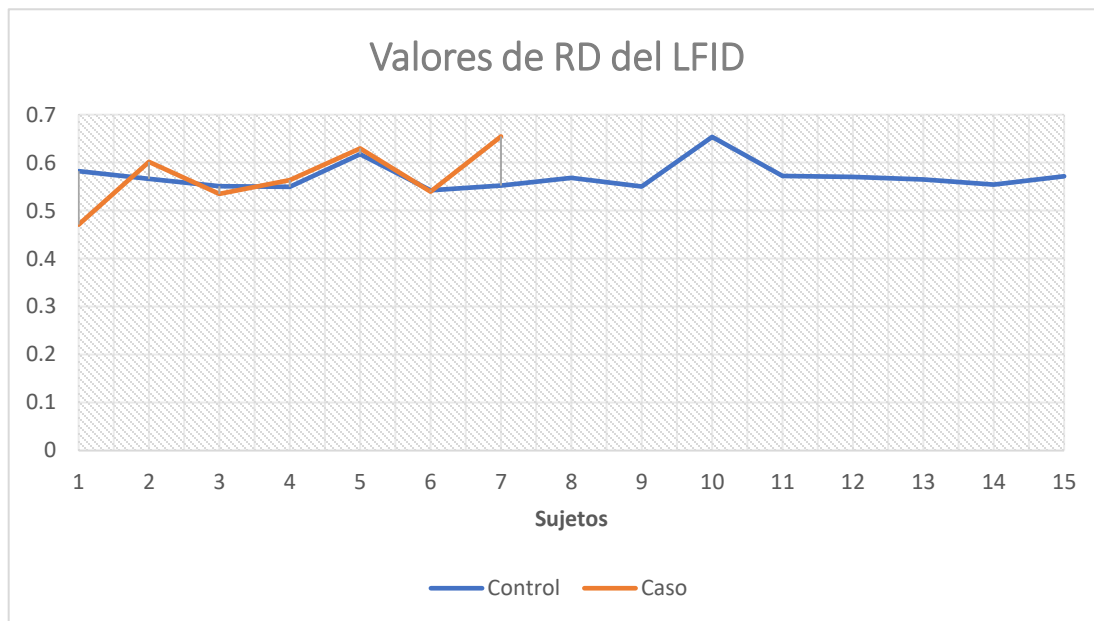
Gráfica 5.- Comparación gráfica de AD del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles



Gráfica 6.- Comparación gráfica de AD del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles



Gráfica 7.- Comparación gráfica de RD del área del fascículo longitudinal inferior izquierdo entre casos y controles



Gráfica 8.- Comparación gráfica de RD del área del fascículo longitudinal inferior derecho entre casos y controles

| Resultados de prueba estadística de volumen del Fascículo Longitudinal Inferior izquierdo y derecho |                                                                            |                            |                            |         |                    |                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                     | Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |         | Prueba de Varianza | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                                     |                                                                            |                            | Controles                  | Casos   |                    |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                           | 0.006399                                                                   | U Mann Whitney             | 13338.1                    | 12220.6 | N/A                | 0.1624                                                                  |
| Derecho                                                                                             | 0.01069                                                                    | U Mann Whitney             | 8663.77                    | 8050.94 | N/A                | 0.3781                                                                  |

Tabla 5.- Resultados estadísticos del volumen del fascículo longitudinal izquierdo y derecho

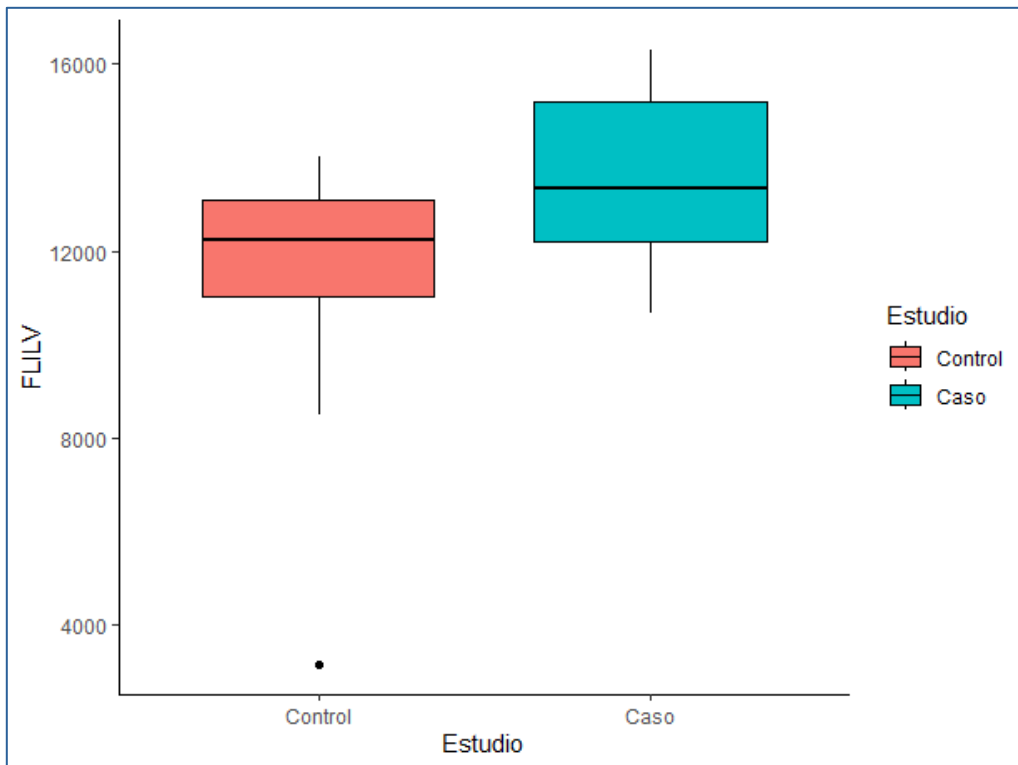


Ilustración 4.-Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

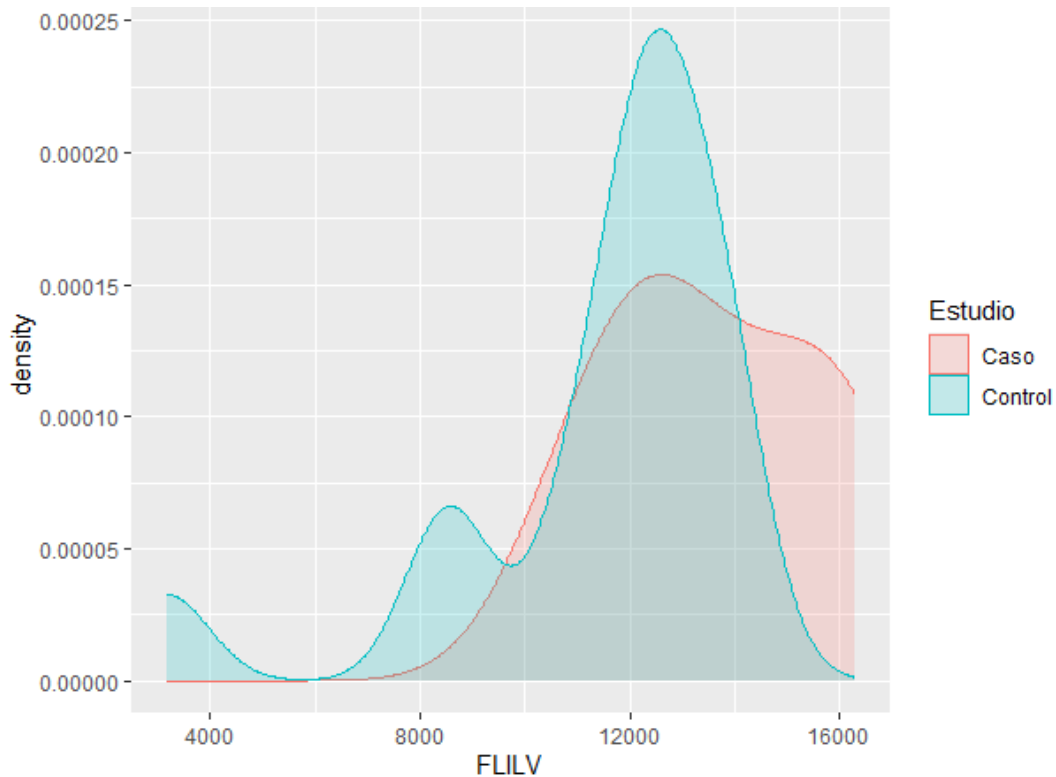


Ilustración 5.-: Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal inferior izquierdo.

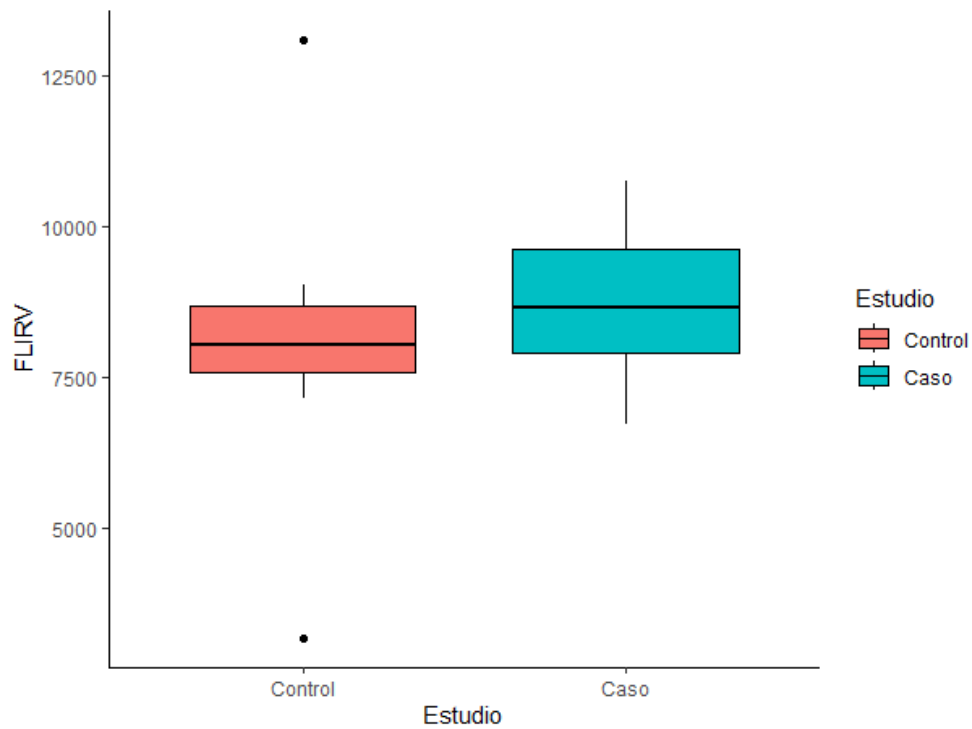


Ilustración 6.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

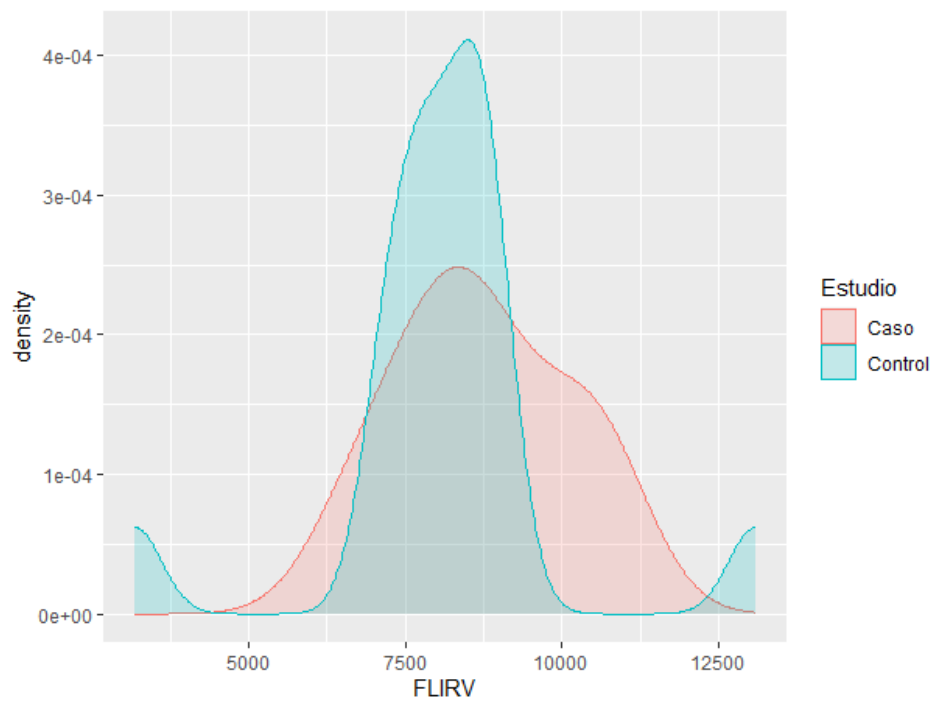


Ilustración 7.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal inferior derecho

| Resultados de prueba estadística del valor de FA del Fascículo Longitudinal Inferior izquierdo y derecho |                                                                            |                            |                            |          |                    |                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                          | Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |          | Prueba de Varianza | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05<br>(Valor de p-valor) |
|                                                                                                          |                                                                            |                            | Controles                  | Casos    |                    |                                                                            |
| Izquierdo                                                                                                | 0.001349                                                                   | U Mann Whitney             | 0.3900441                  | 0.405868 | N/A                | 0.8907                                                                     |
| Derecho                                                                                                  | 0.01051                                                                    | U Mann Whitney             | 0.390441                   | 0.376254 | N/A                | 0.6796                                                                     |

Tabla 6.- Resultados estadísticos del valor de FA del fascículo longitudinal izquierdo y derecho

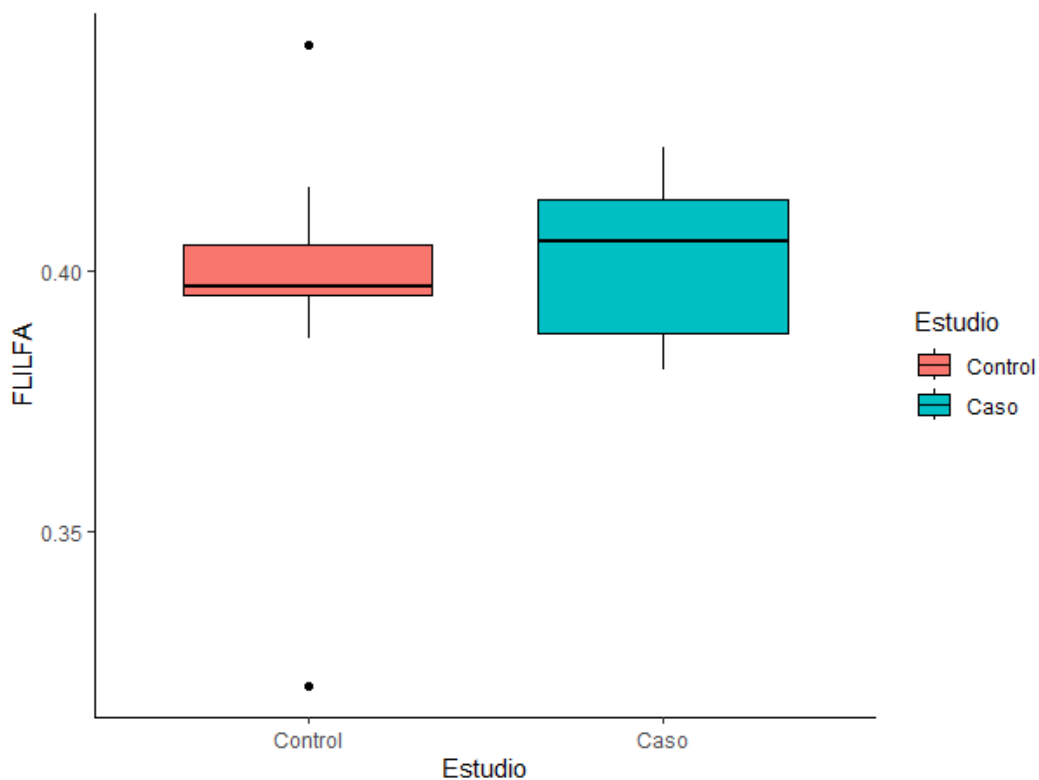


Ilustración 8.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

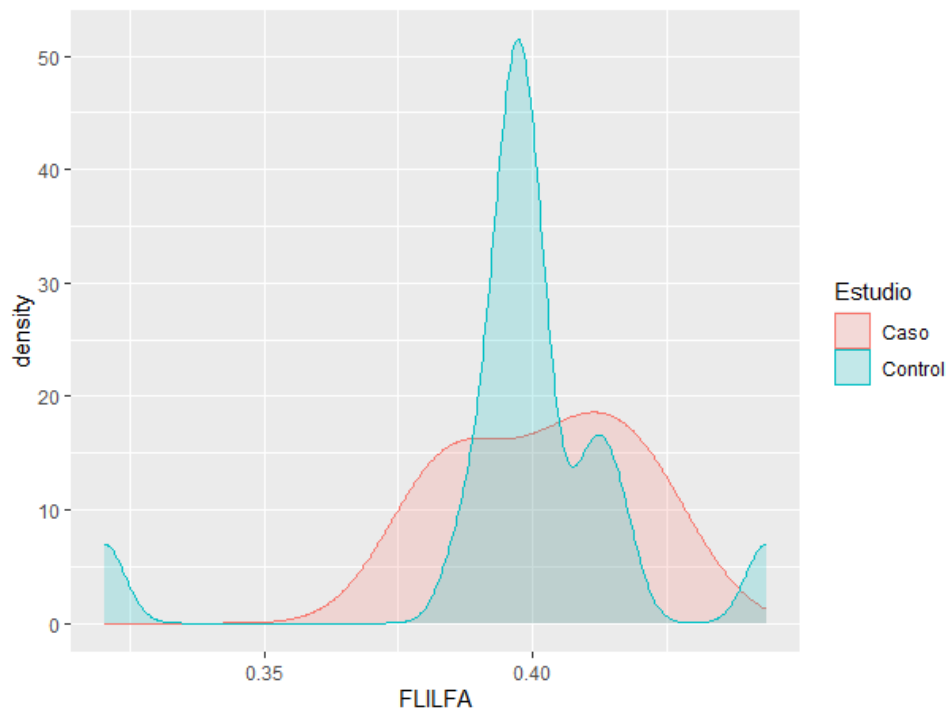


Ilustración 9.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal inferior izquierdo

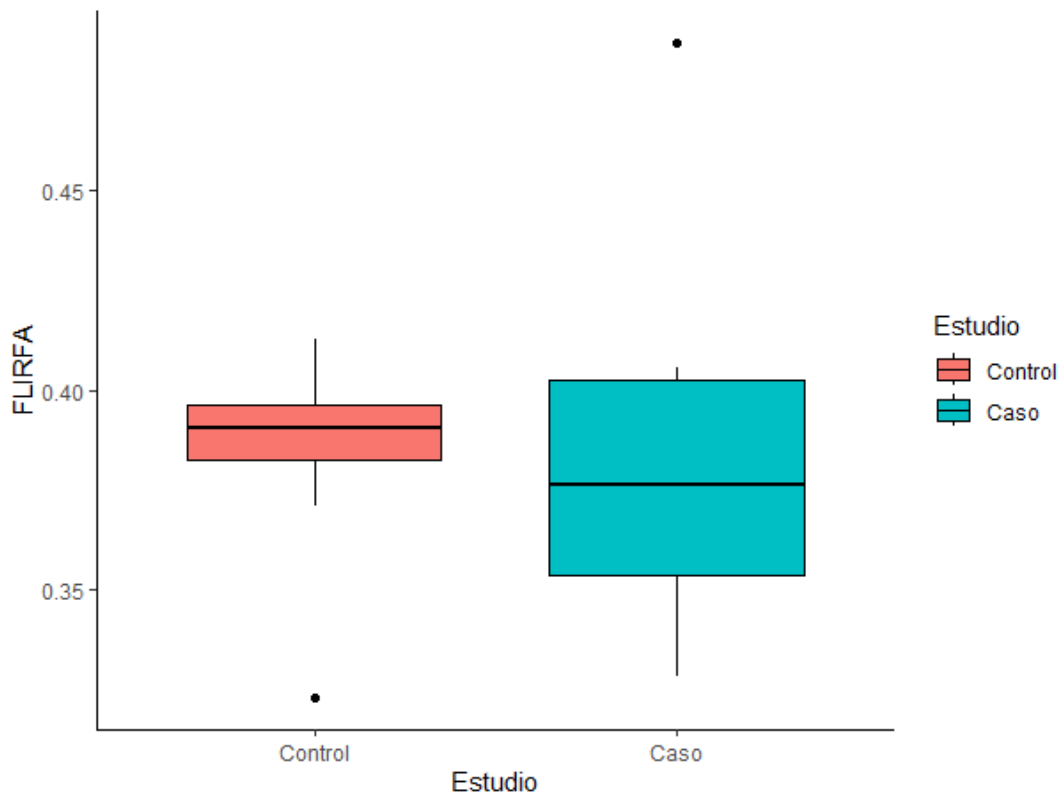


Ilustración 10.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

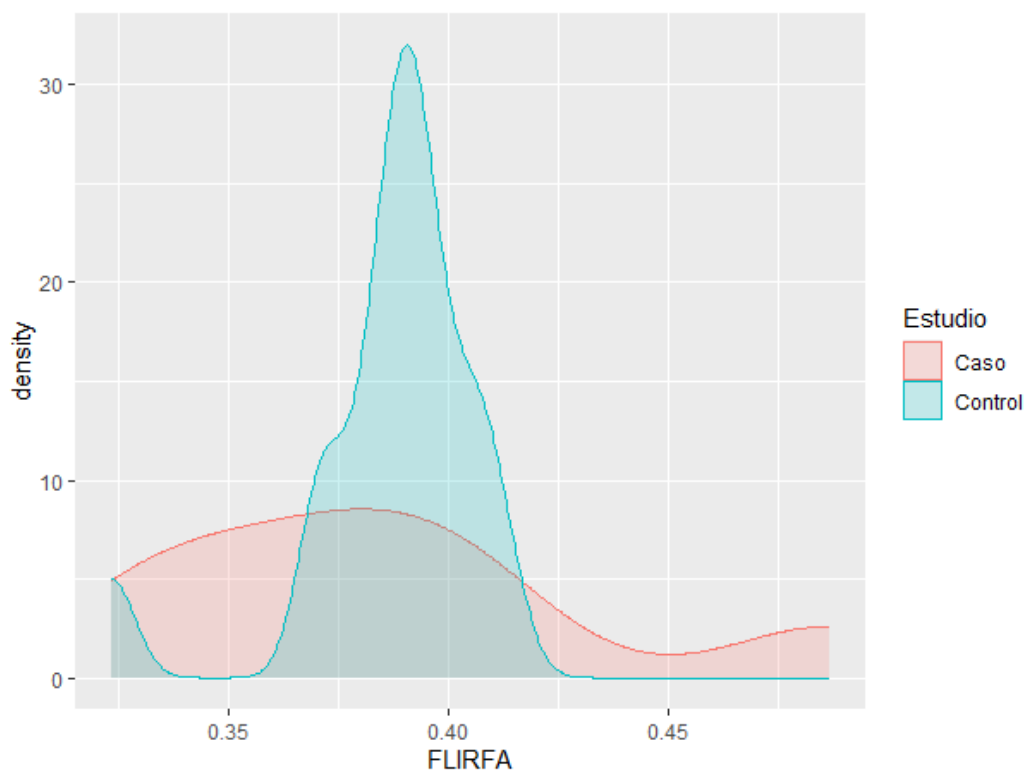


Ilustración 11.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal inferior derecho

| Resultados de prueba estadística del valor de RD del Fascículo Longitudinal Inferior izquierdo y derecho |                                                                         |                            |                            |           |                    |                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                          | Prueba de normalidad (shapiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                                          |                                                                         |                            | Controles                  | Casos     |                    |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                                | 0.04232                                                                 | U Mann Whitney             | 0.5853616                  | 0.405868  | N/A                | 0.8366                                                                  |
| Derecho                                                                                                  | 0.04733                                                                 | U Mann Whitney             | 0.820780                   | 0.5707170 | N/A                | 0.7833                                                                  |

Tabla 7.- Resultados estadísticos del valor de RD del fascículo longitudinal izquierdo y derecho



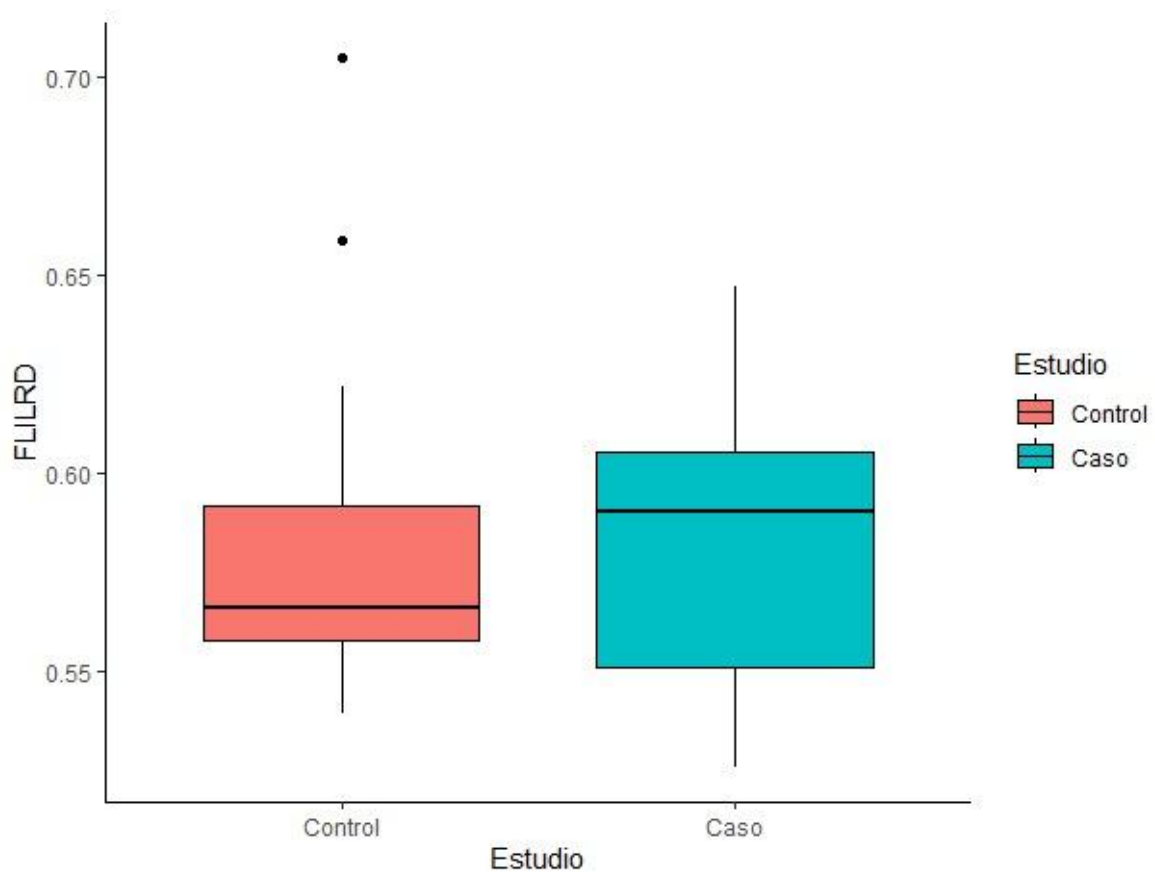


Ilustración 12.-Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

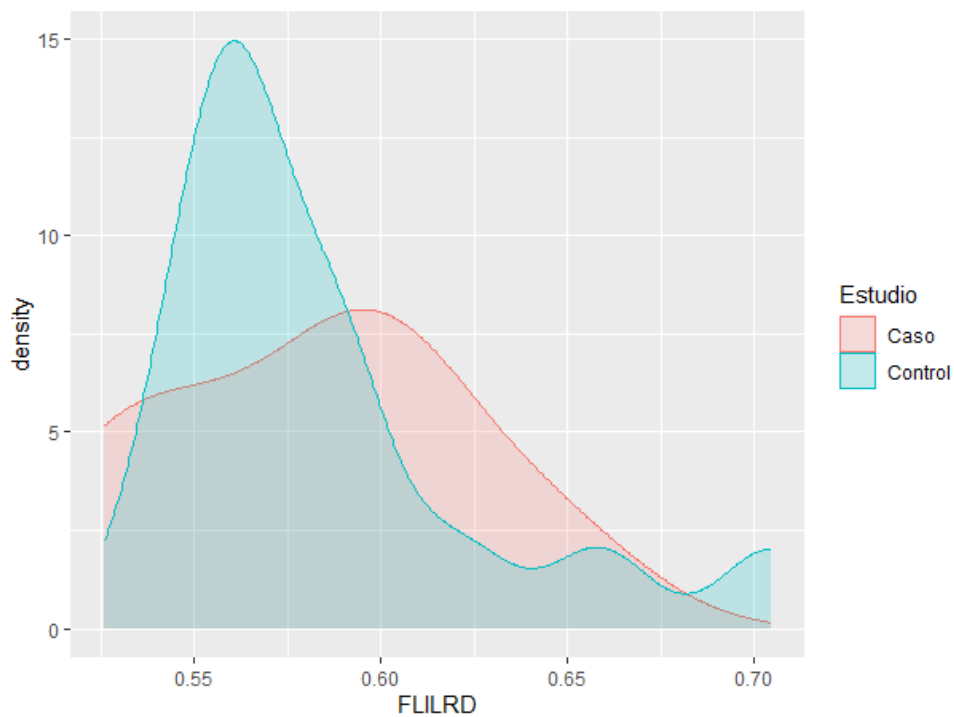


Ilustración 13.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal inferior izquierdo

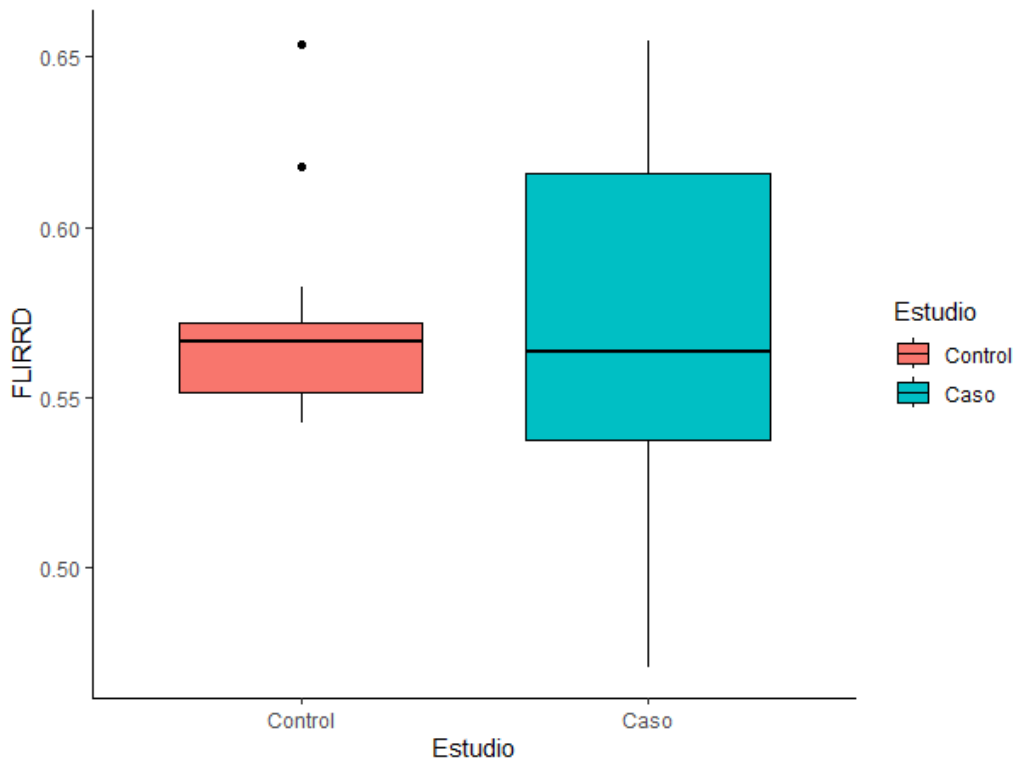


Ilustración 14.- Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

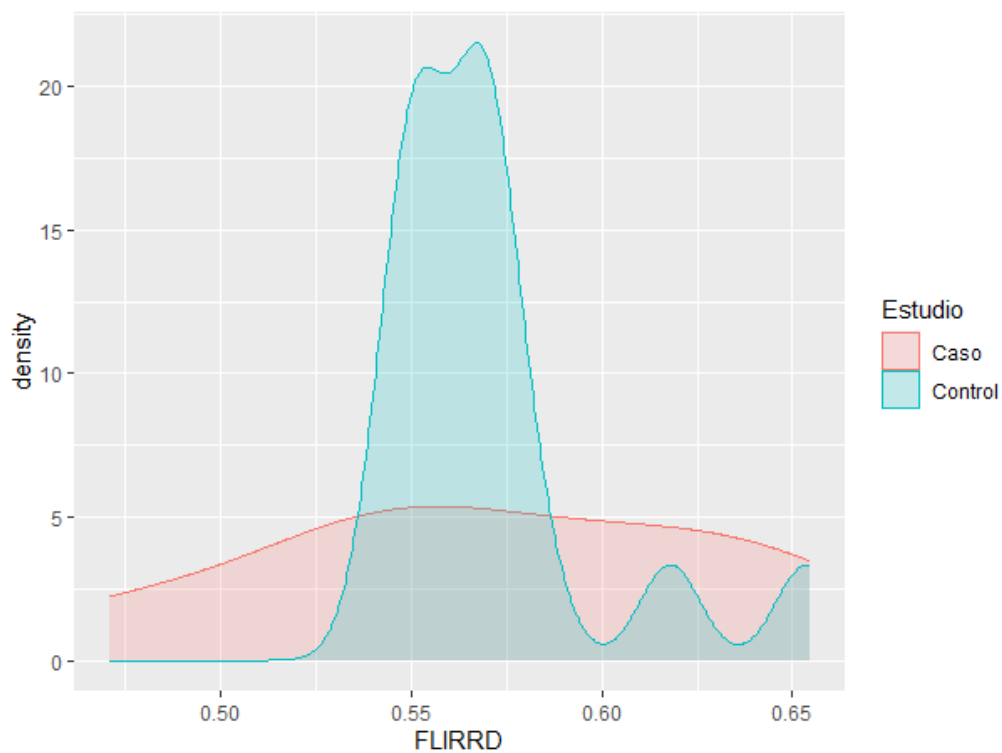


Ilustración 15.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal inferior derecho

| Resultados de prueba estadística del valor de AD del Fascículo Longitudinal Inferior izquierdo y derecho |                                                                            |                            |                            |         |                    |                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                          | Prueba de normalidad (shapiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |         | Prueba de Varianza | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05<br>(Valor de p-valor) |
|                                                                                                          |                                                                            |                            | Controles                  | Casos   |                    |                                                                            |
| Izquierdo                                                                                                | 9.482e-05                                                                  | U Mann Whitney             | 1.06941                    | 1.08213 | N/A                | 1                                                                          |
| Derecho                                                                                                  | 2.635e-06                                                                  | U Mann Whitney             | 1.02593                    | 1.01175 | N/A                | 1                                                                          |

Tabla 8.- Resultados estadísticos del valor de AD del fascículo longitudinal izquierdo y derecho

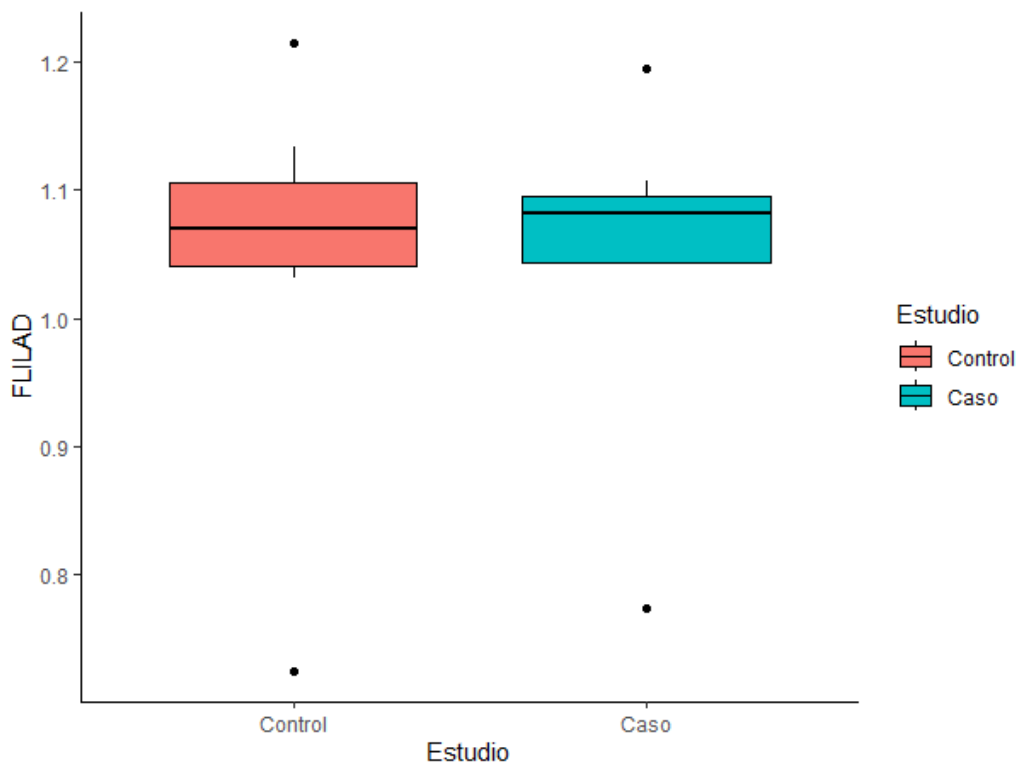


Ilustración 16.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal inferior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

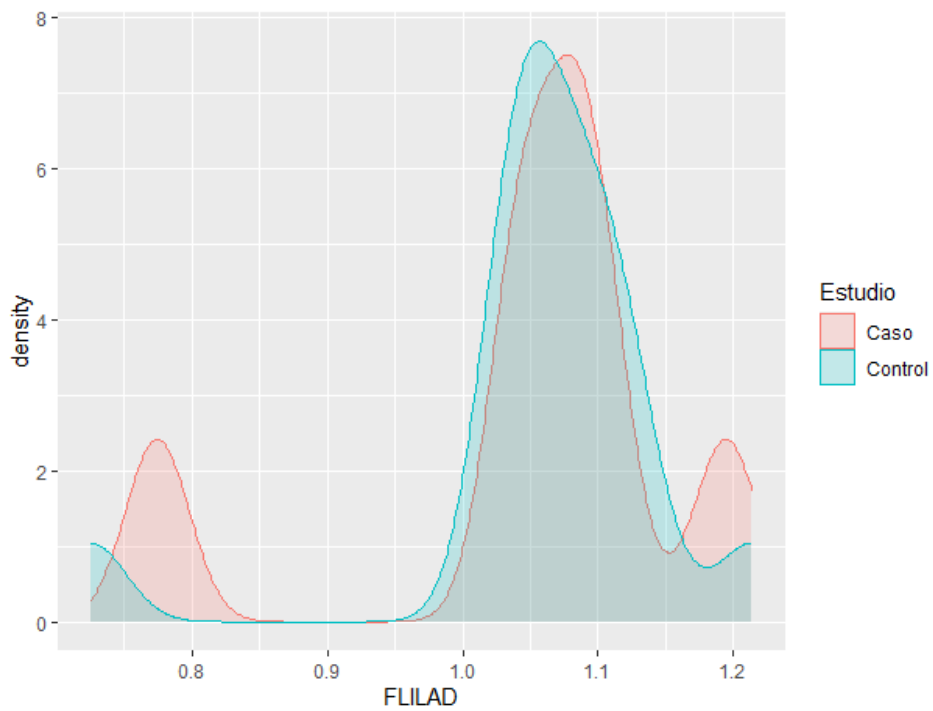


Ilustración 17.- Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal inferior izquierdo

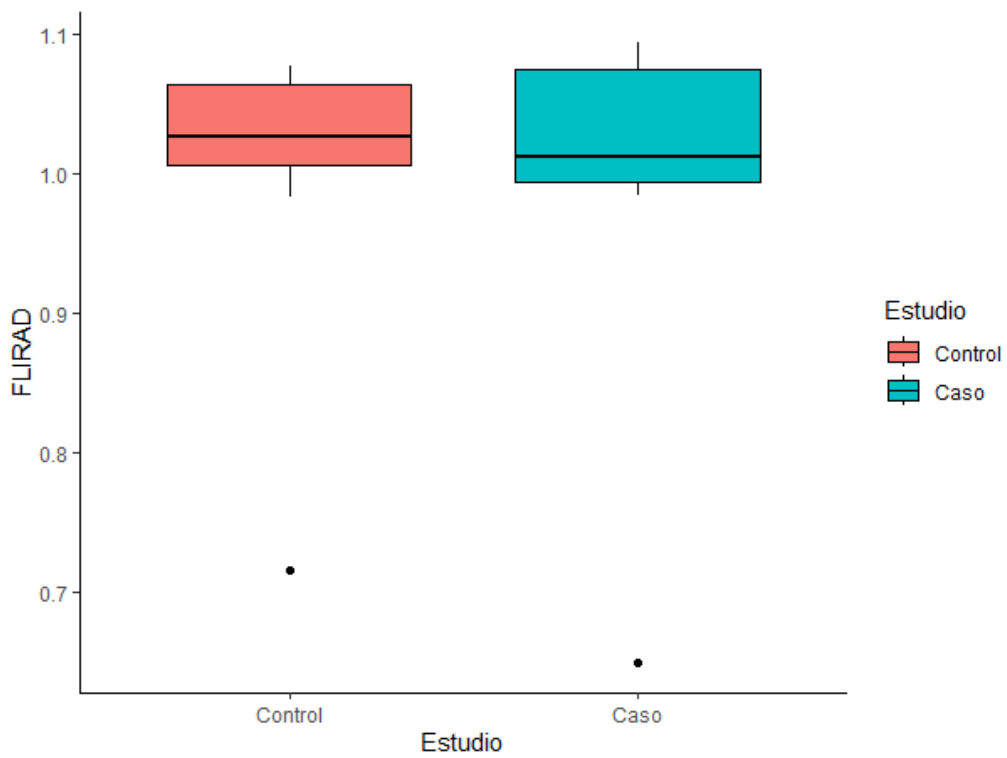


Ilustración 18.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal inferior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos

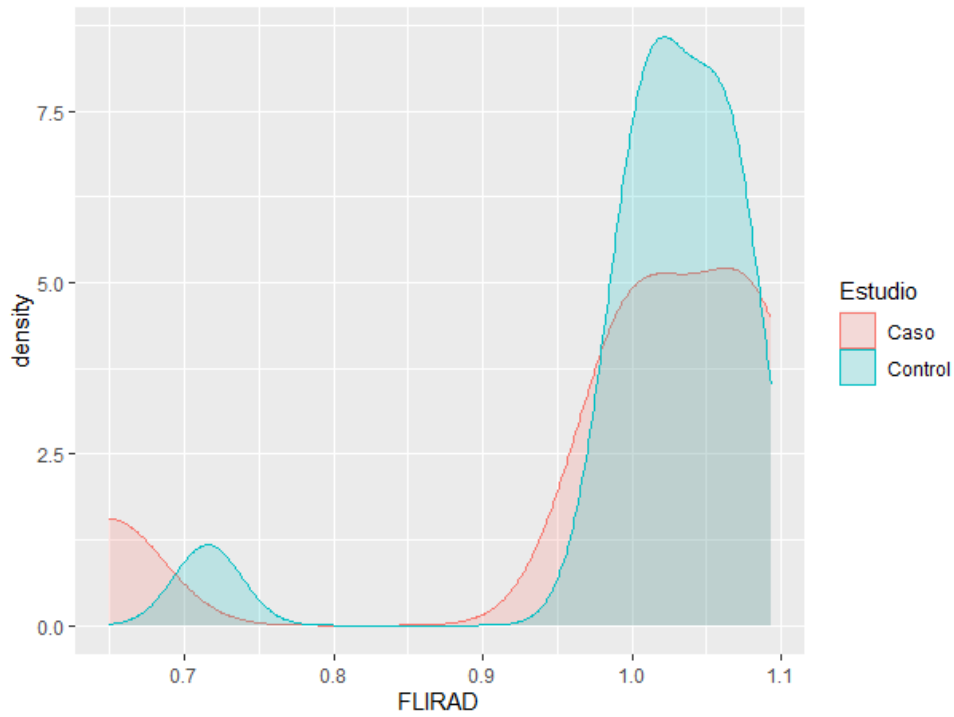
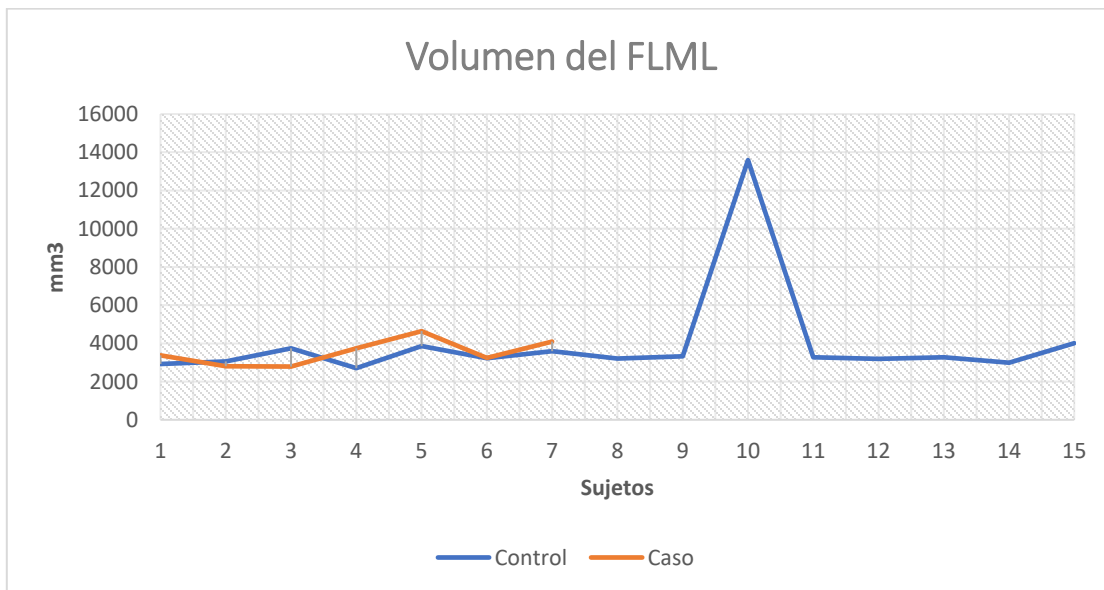
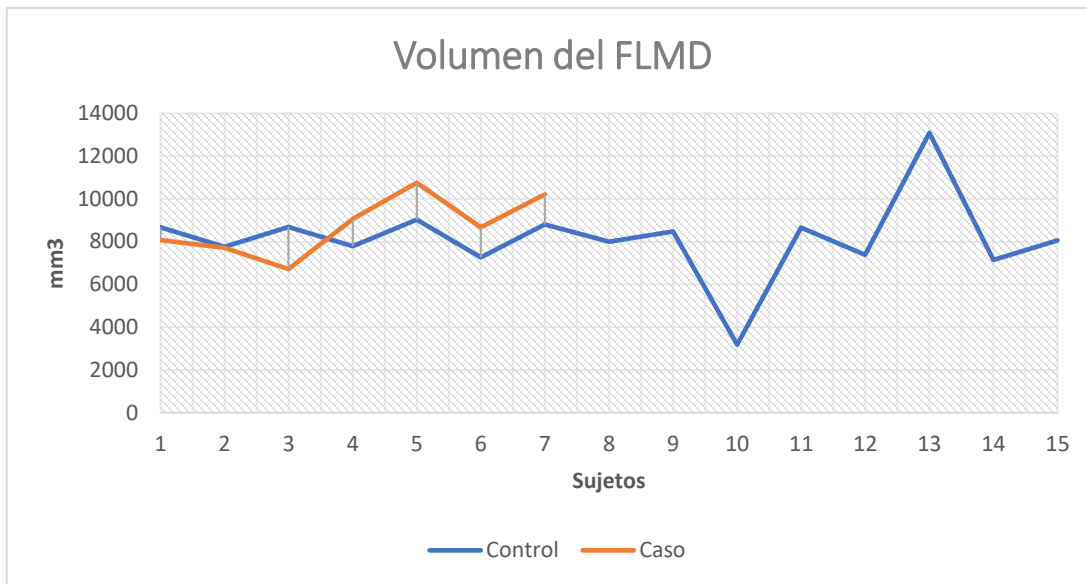


Ilustración 19.-Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal inferior derecho

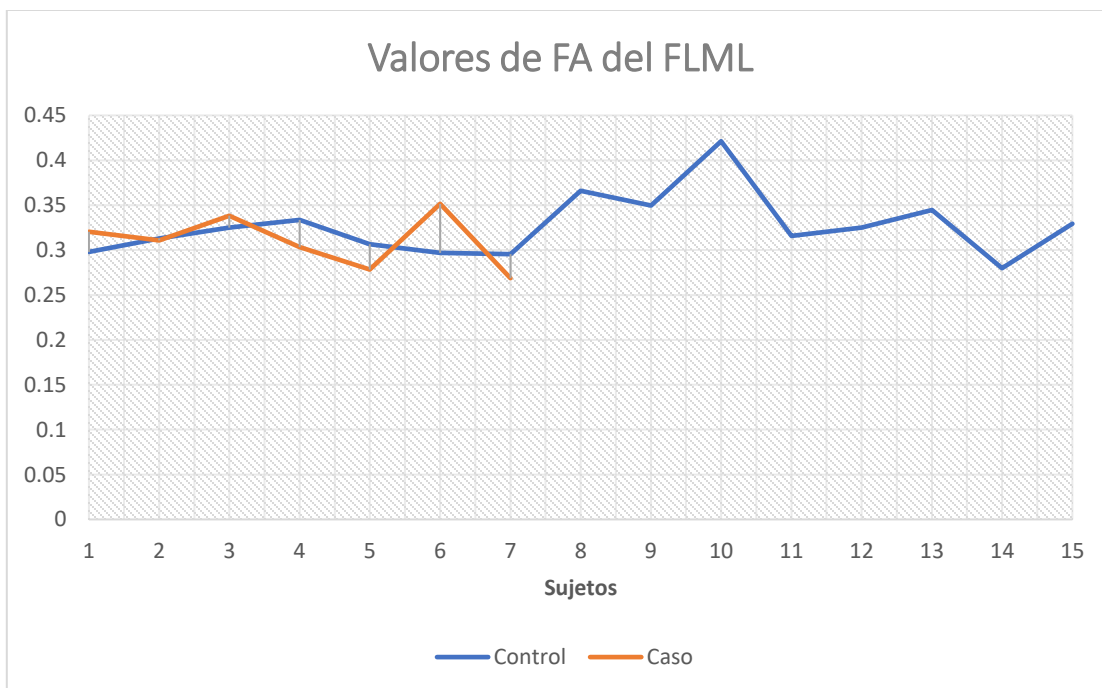
## VIII.II Fascículo Longitudinal Medial Izquierdo y Derecho



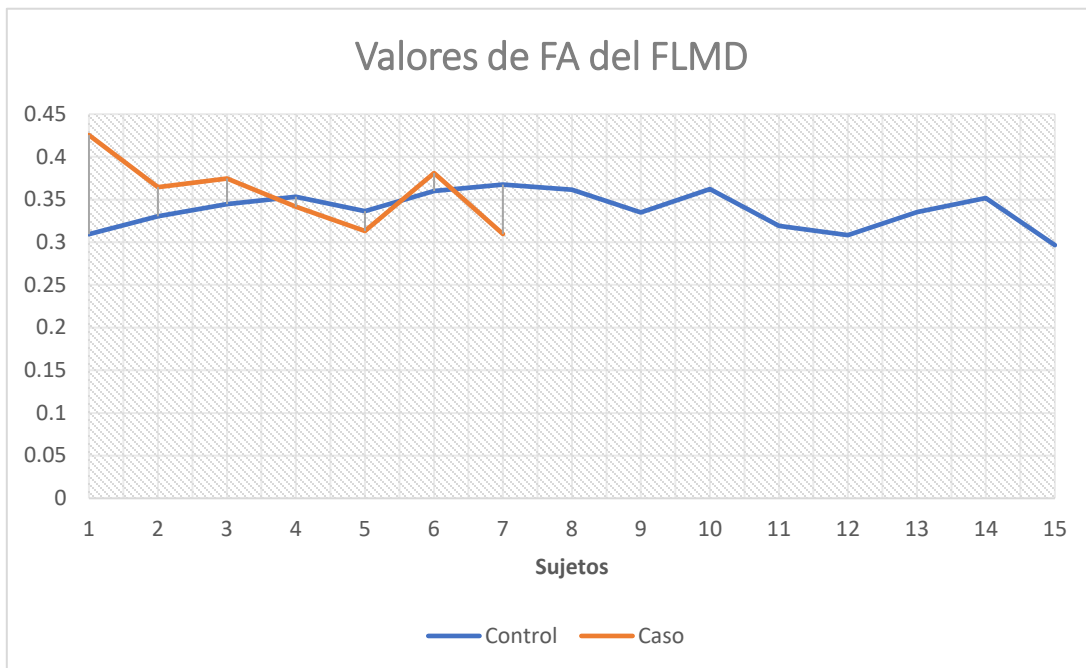
Gráfica 9.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal Medial Izquierdo



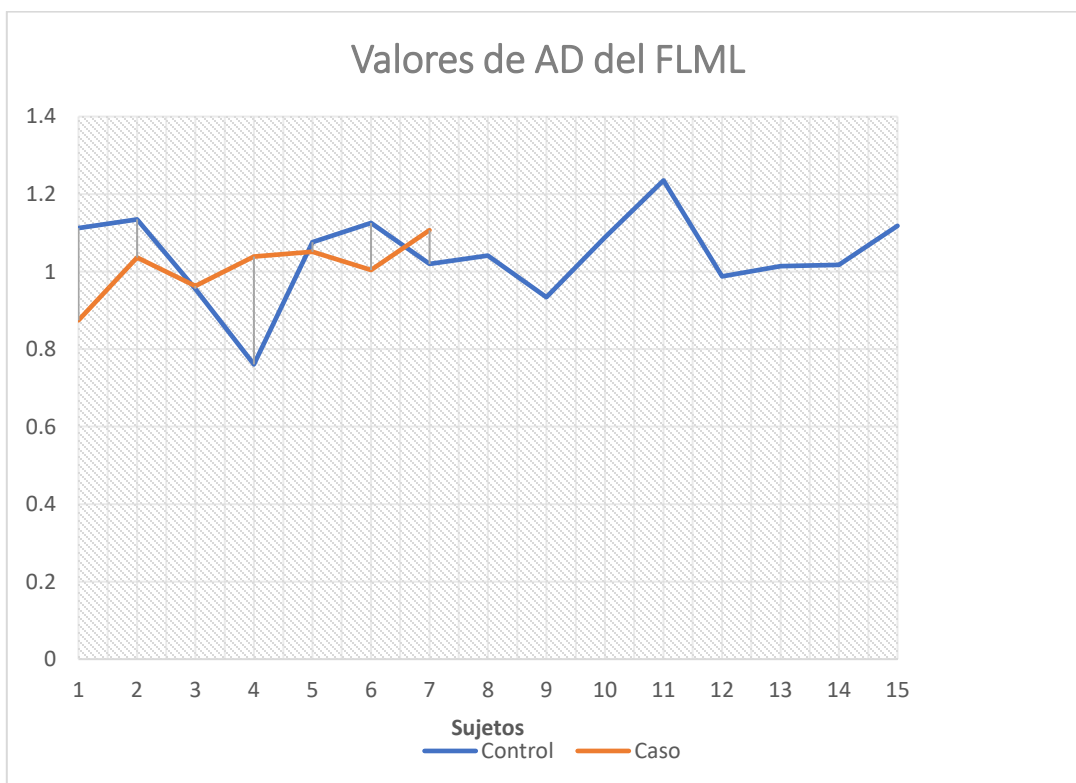
Gráfica 10.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal medial derecho



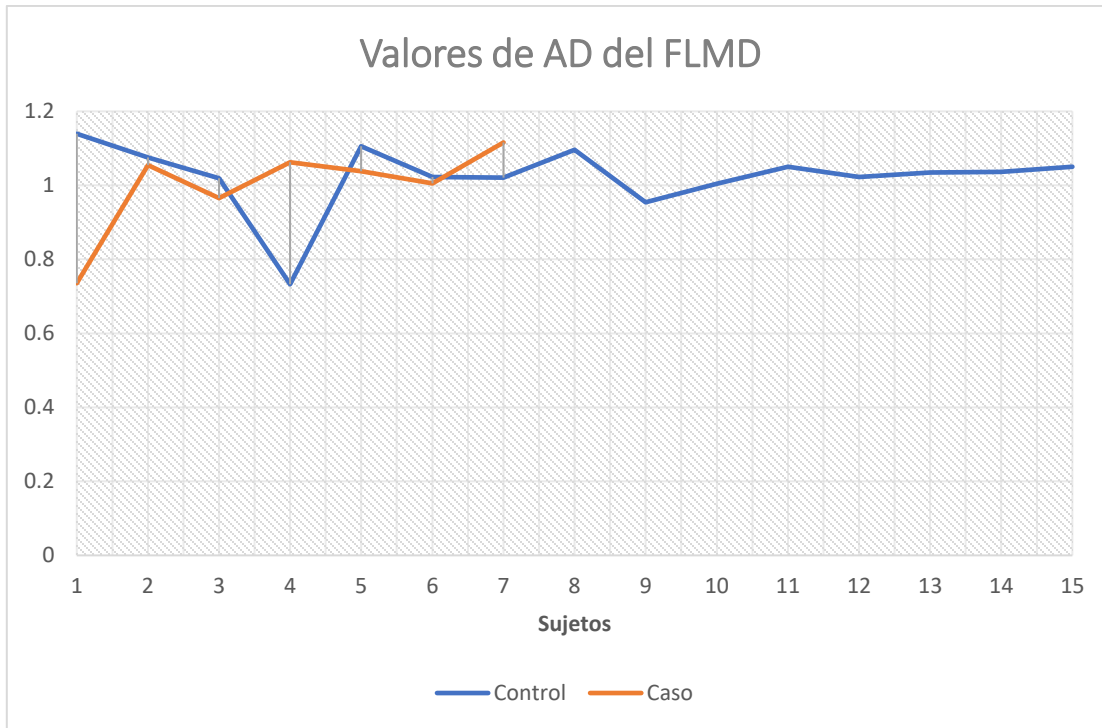
Gráfica 11.- Comparación gráfica del FA del fascículo longitudinal medial izquierdo



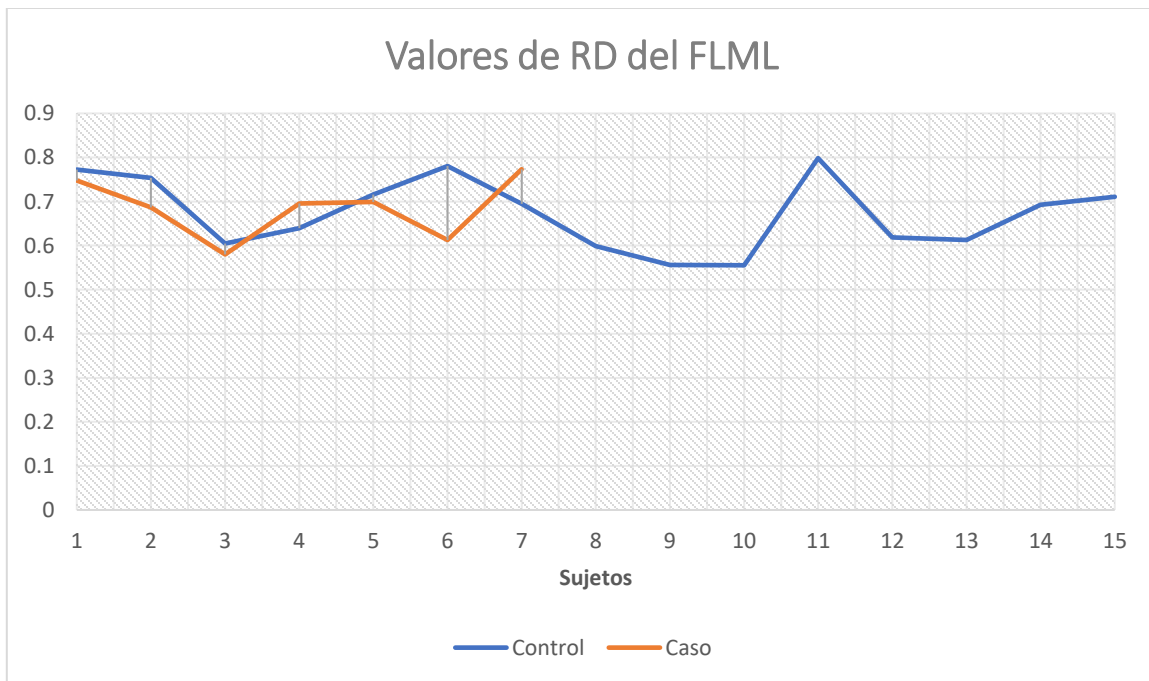
Gráfica 12.- Comparación gráfica del FA del fascículo longitudinal medial derecho



Gráfica 13.- Comparación gráfica del AD del fascículo longitudinal medial izquierdo

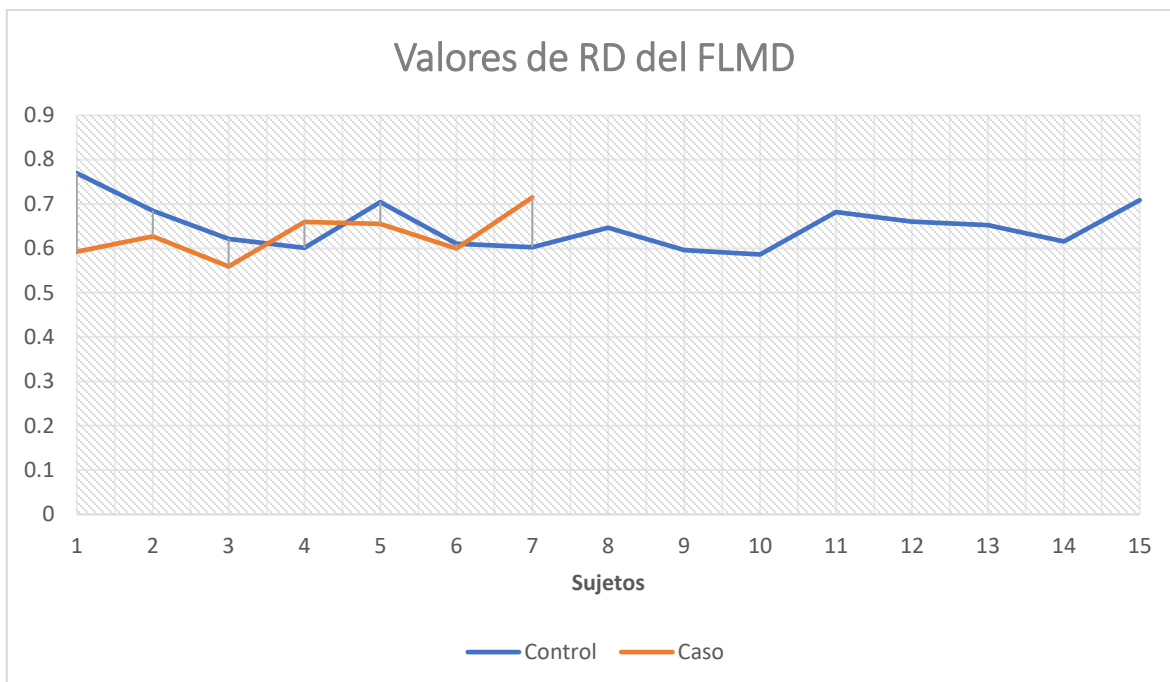


Gráfica 14.- Comparación gráfica del AD del fascículo longitudinal medial derecho



Gráfica 15.- Comparación gráfica del RD del fascículo longitudinal medial izquierdo





Gráfica 16.- Comparación gráfica del RD del fascículo longitudinal medial derecho

| Resultados de prueba estadística de volumen del Fascículo Longitudinal Medio izquierdo y derecho |                                                                      |                            |                            |         |                    |                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                  | Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |         | Prueba de Varianza | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                                  |                                                                      |                            | Controles                  | Casos   |                    |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                        | 1.967e-08                                                            | U Mann Whitney             | 3268.44                    | 3376.59 | N/A                | 0.6796                                                                  |
| Derecho                                                                                          | 6.975e-09                                                            | U Mann Whitney             | 4061.52                    | 4422.01 | N/A                | 0.5723                                                                  |

Tabla 9.-Resultados estadísticos del volumen del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho

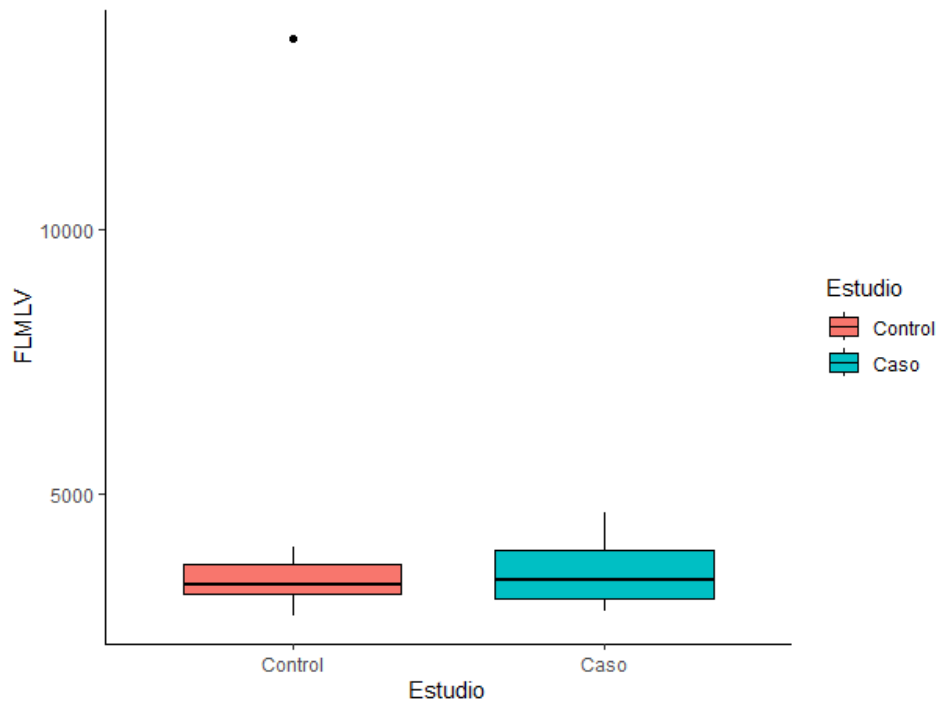


Ilustración 20.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

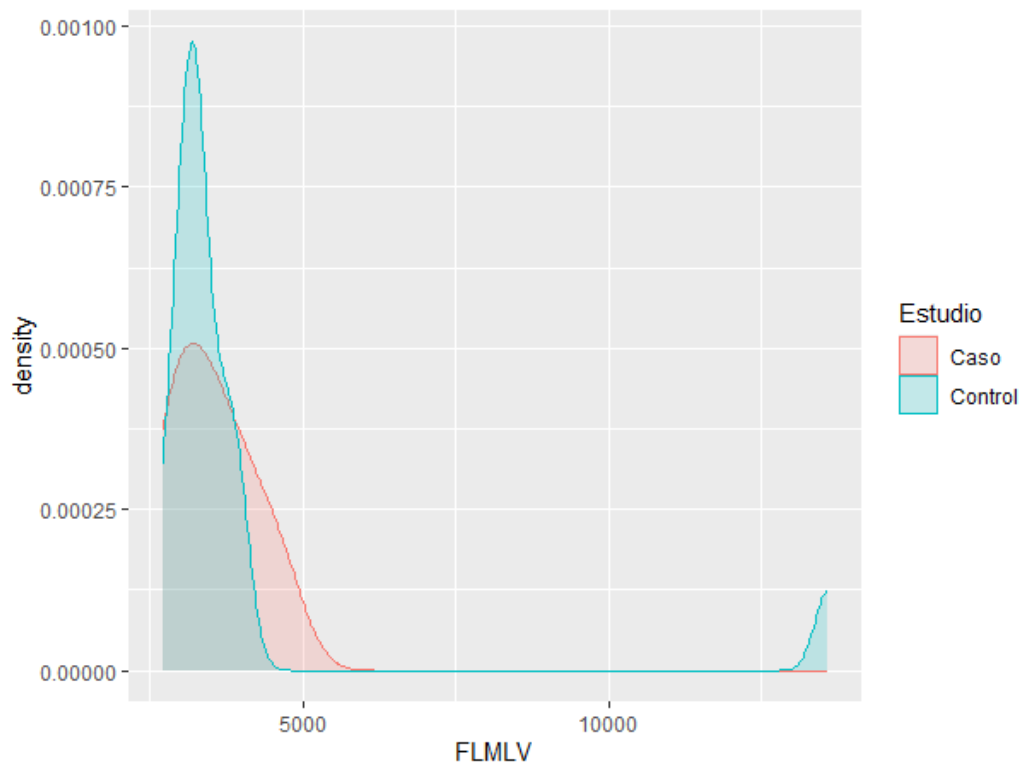


Ilustración 21.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal medio izquierdo

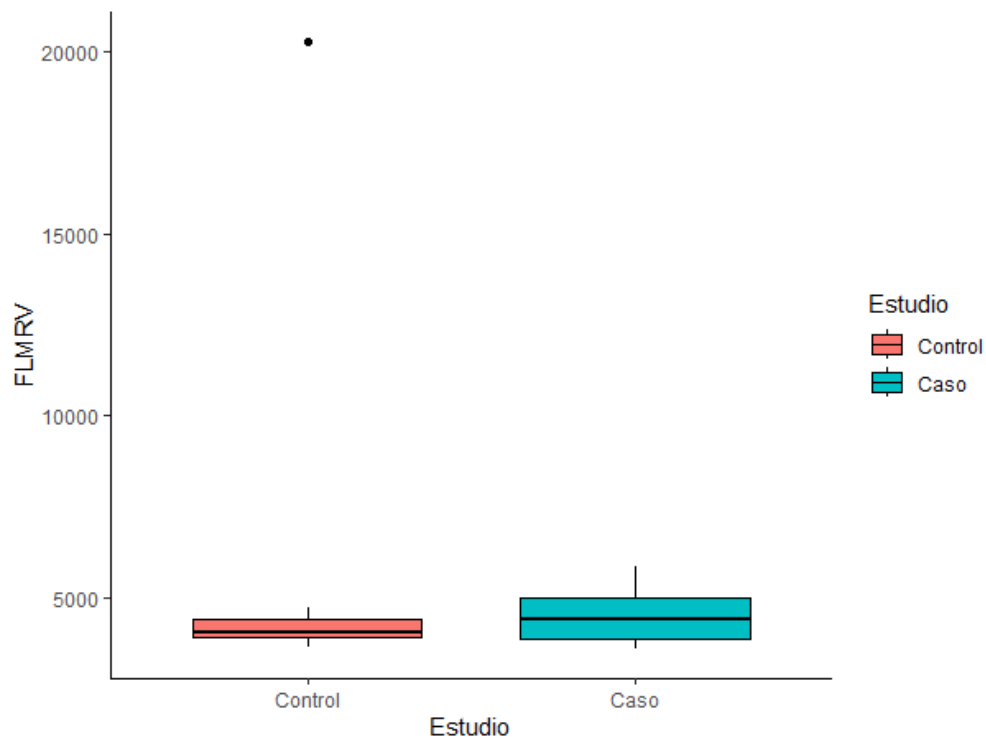


Ilustración 22.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

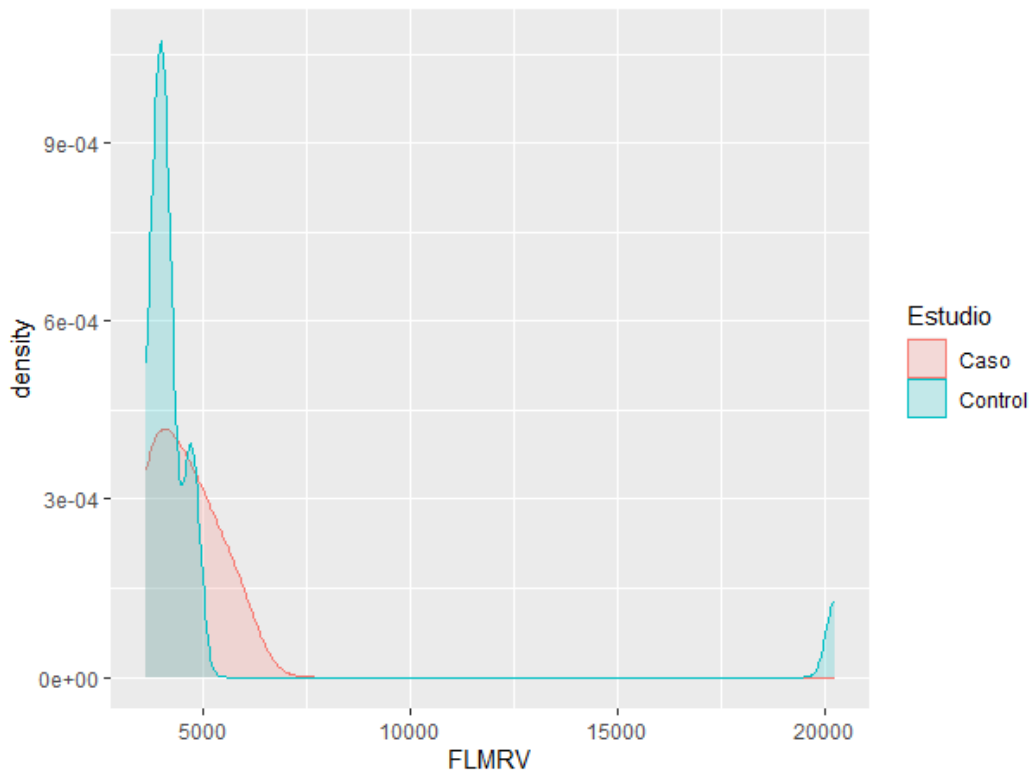


Ilustración 23.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal medio derecho

| Resultados de prueba estadística de FA del Fascículo Longitudinal Medio izquierdo y derecho |                                                                            |                            |                            |           |                                                            |                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                             | Prueba de normalidad (shapiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05<br>(valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05<br>(Valor de p-valor) |
|                                                                                             |                                                                            |                            | Controles                  | Casos     |                                                            |                                                                            |
| Izquierdo                                                                                   | 0.1567                                                                     | T- de Student              | 0.3266707                  | 0.3101320 | 0.7426                                                     | 0.2927                                                                     |
| Derecho                                                                                     | 0.3657                                                                     | U Mann Whitney             | 0.3380578                  | 0.3585680 | N/A                                                        | 0.05321                                                                    |

Tabla 10.- Resultados estadísticos de FA del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho

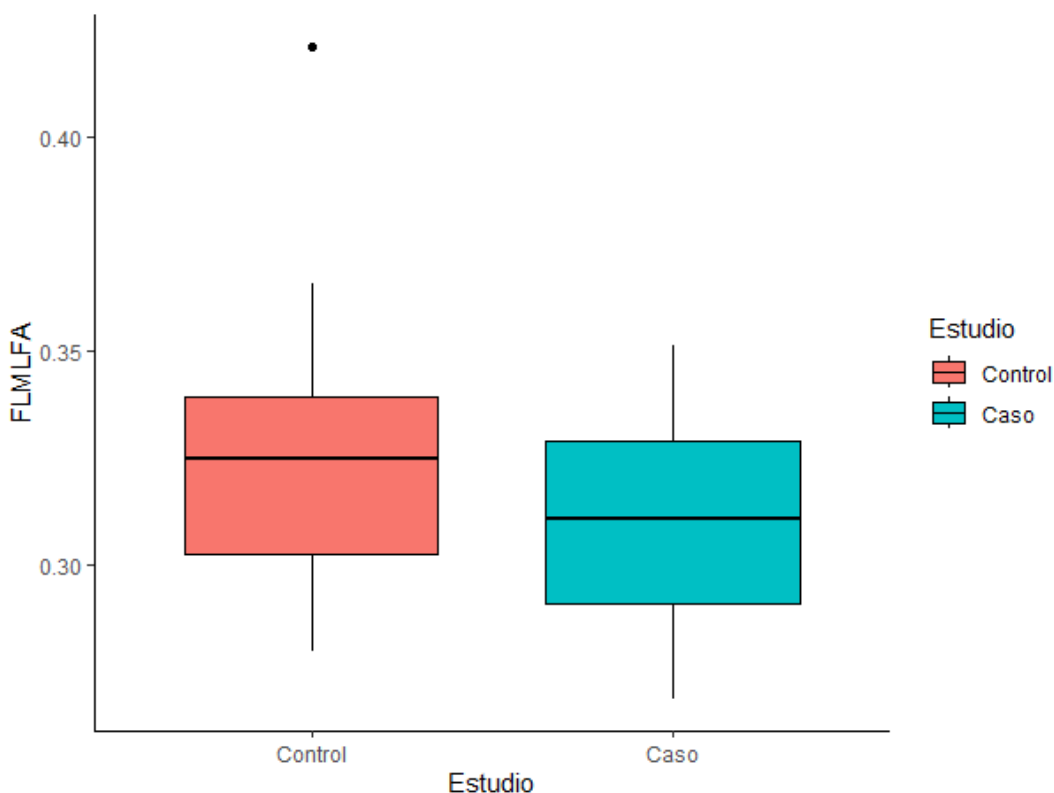


Ilustración 24.- Gráfica de cajas y bigotes del FA del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

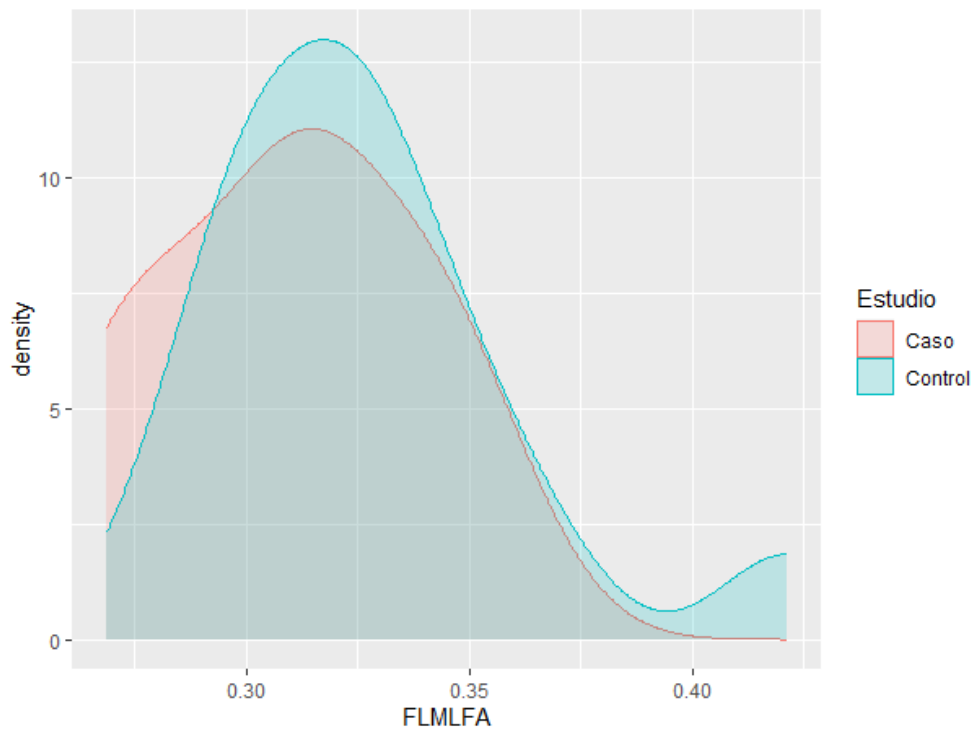


Ilustración 25.- Gráfica de distribución de los valores del FA del fascículo longitudinal medio izquierdo

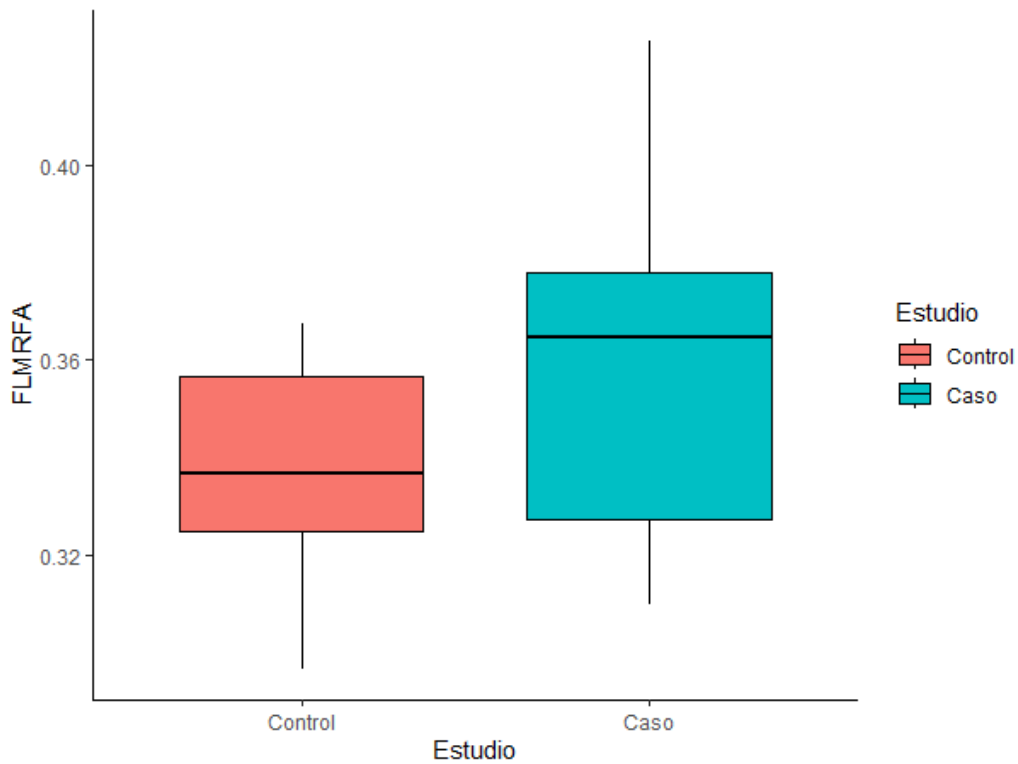


Ilustración 26.- Gráfica de cajas y bigotes del FA del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

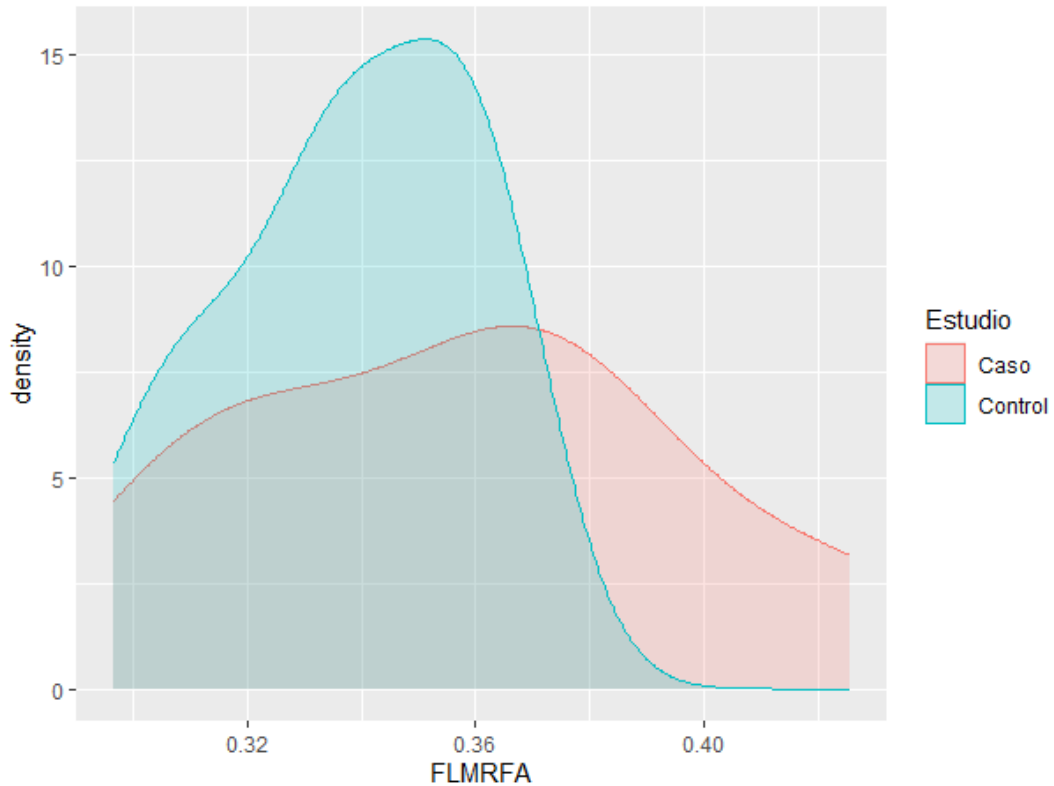


Ilustración 27.- Gráfica de distribución de los valores del FA del fascículo longitudinal medio derecho

| Resultados de prueba estadística de AD del Fascículo Longitudinal Medio izquierdo y derecho |                                                                      |                            |                            |           |                                                      |                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                             | Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                             |                                                                      |                            | Controles                  | Casos     |                                                      |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                   | 0.396                                                                | T- de Student              | 1.01605                    | 1.041286  | 0.3419                                               | 0.5135                                                                  |
| Derecho                                                                                     | 0.0001044                                                            | U Mann Whitney             | 1.0243324                  | 0.9966867 | N/P                                                  | 0.5983                                                                  |

Tabla 11.- Resultados estadísticos de AD del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho

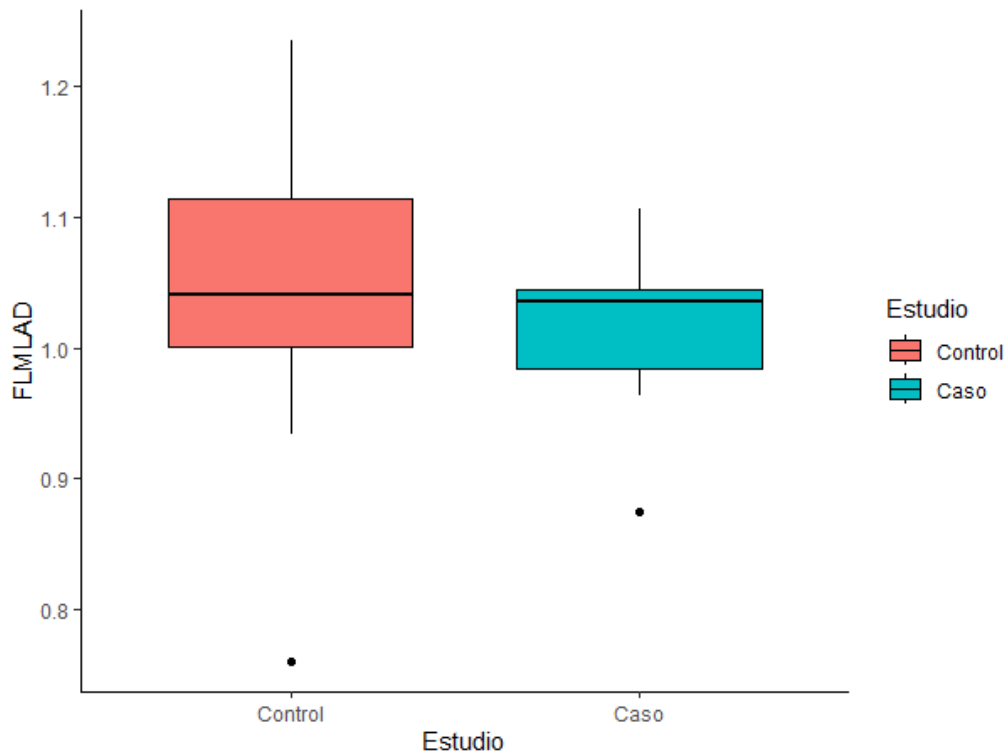


Ilustración 28.- Gráfica de cajas y bigotes del AD del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

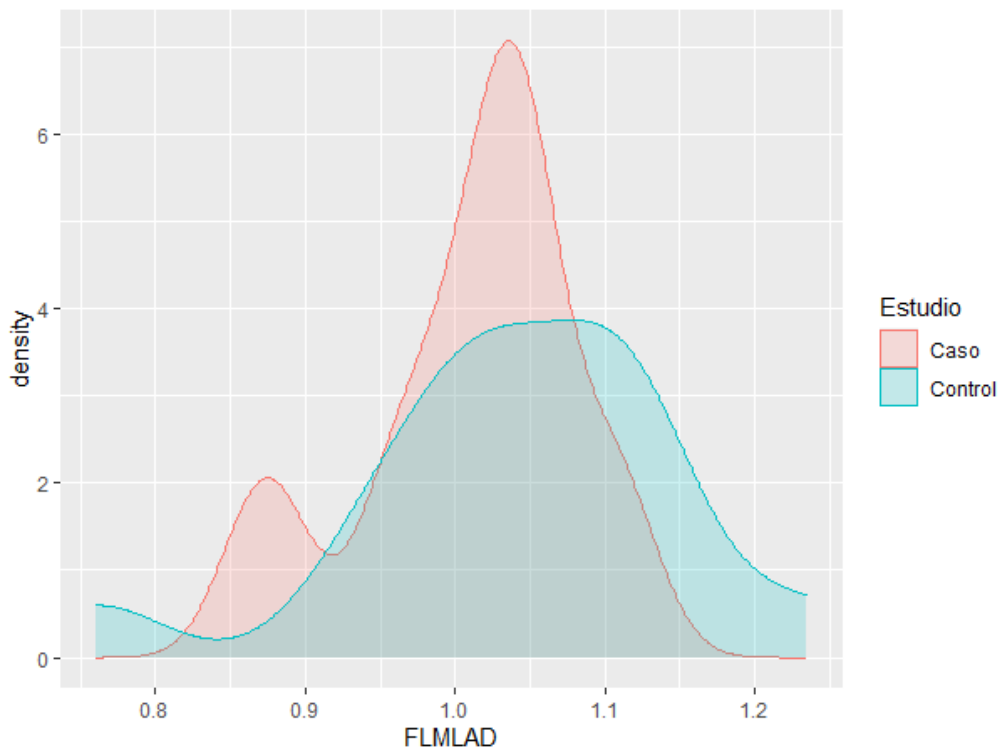


Ilustración 29.- Gráfica de distribución de los valores del AD del fascículo longitudinal medio izquierdo

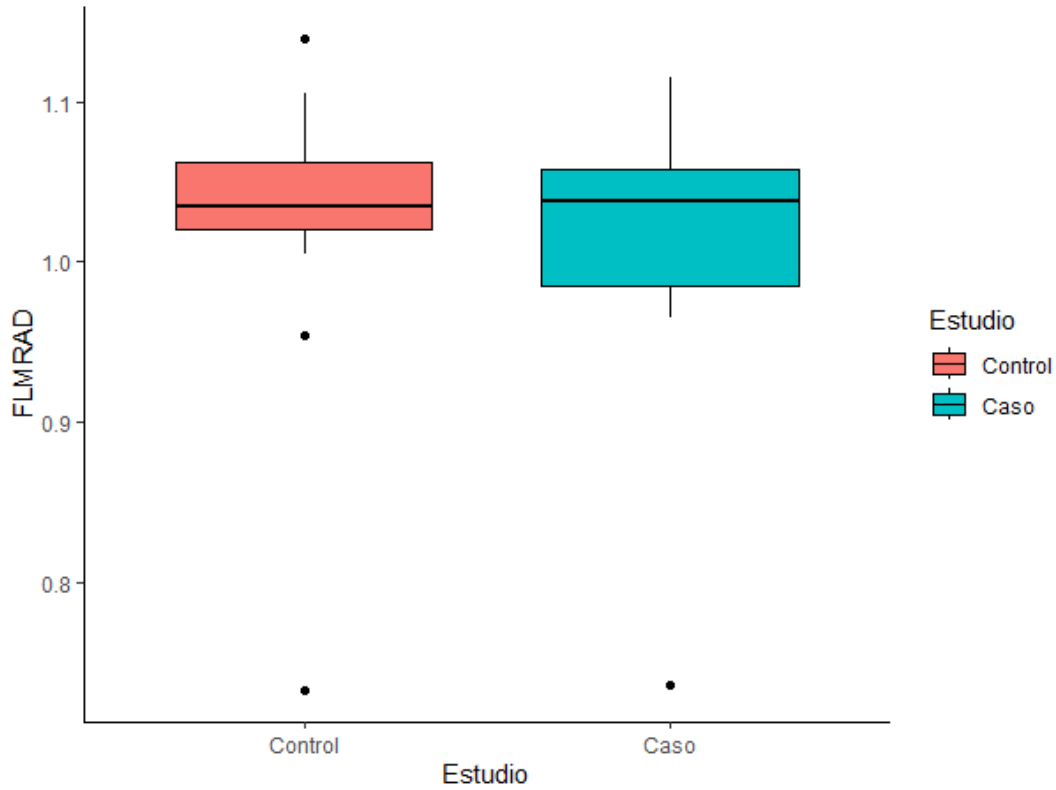


Ilustración 30.- Gráfica de cajas y bigotes del AD del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

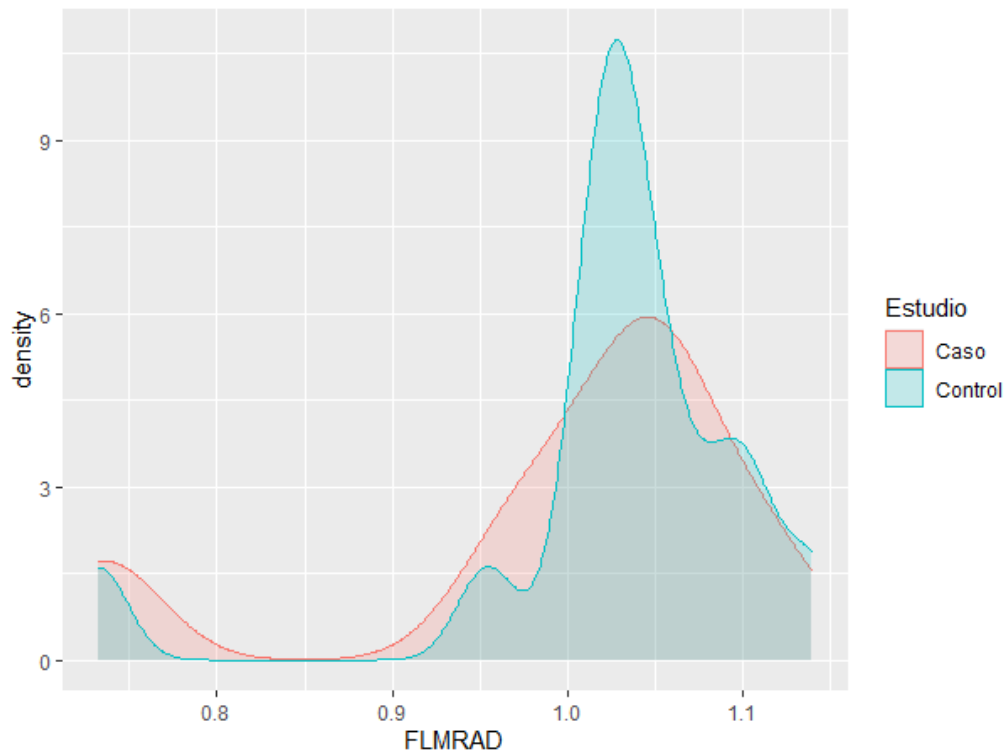


Ilustración 31.- Gráfica de distribución de los valores del AD del fascículo longitudinal medio derecho



| Resultados de prueba estadística de RD del Fascículo Longitudinal Medio izquierdo y derecho |                                                                      |                            |                            |           |                                                      |                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                             | Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk) p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                             |                                                                      |                            | Controles                  | Casos     |                                                      |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                   | 0.1893                                                               | T- de Student              | 0.6736797                  | 0.6849924 | 0.703                                                | 0.7545                                                                  |
| Derecho                                                                                     | 0.3761                                                               | T-de Student               | 0.6494042                  | 0.6296289 | 0.9492                                               | 0.4175                                                                  |

Tabla 12.- Resultados estadísticos de RD del fascículo longitudinal medio izquierdo y derecho

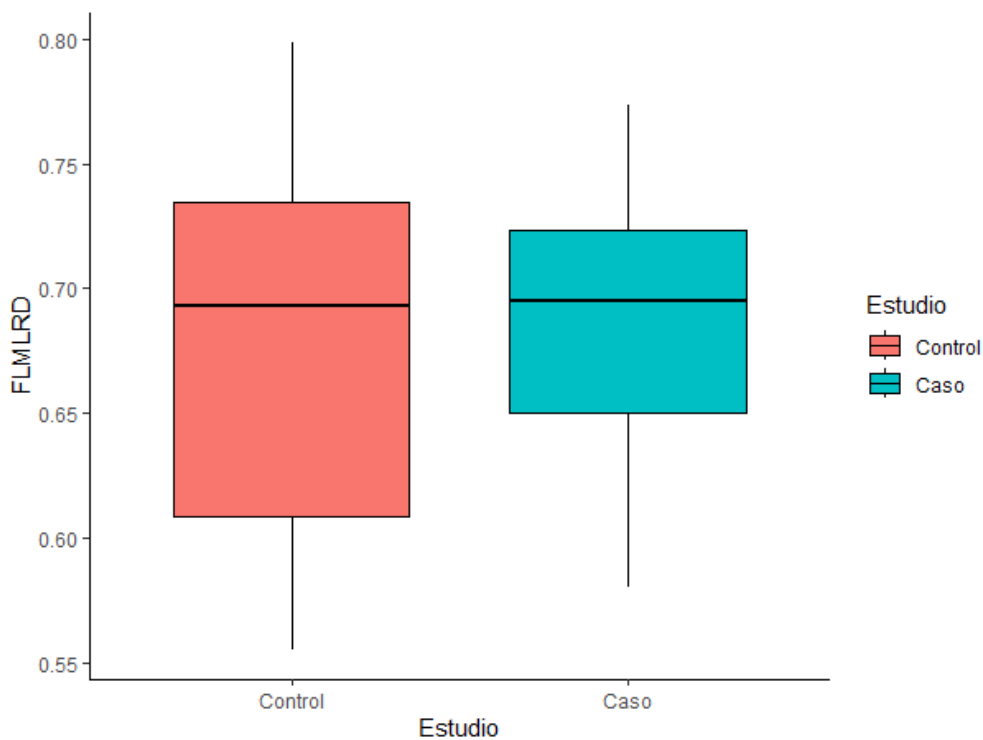


Ilustración 32.- Gráfica de cajas y bigotes del RD del fascículo longitudinal medio izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

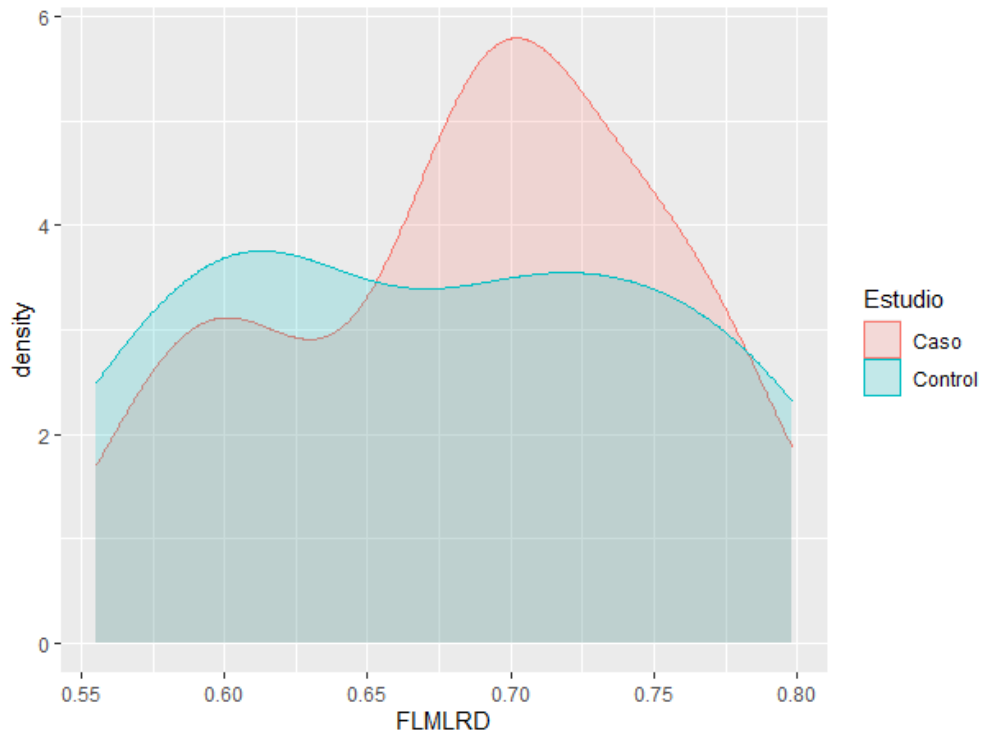


Ilustración 33.- Gráfica de distribución de los valores del RD del fascículo longitudinal medio izquierdo

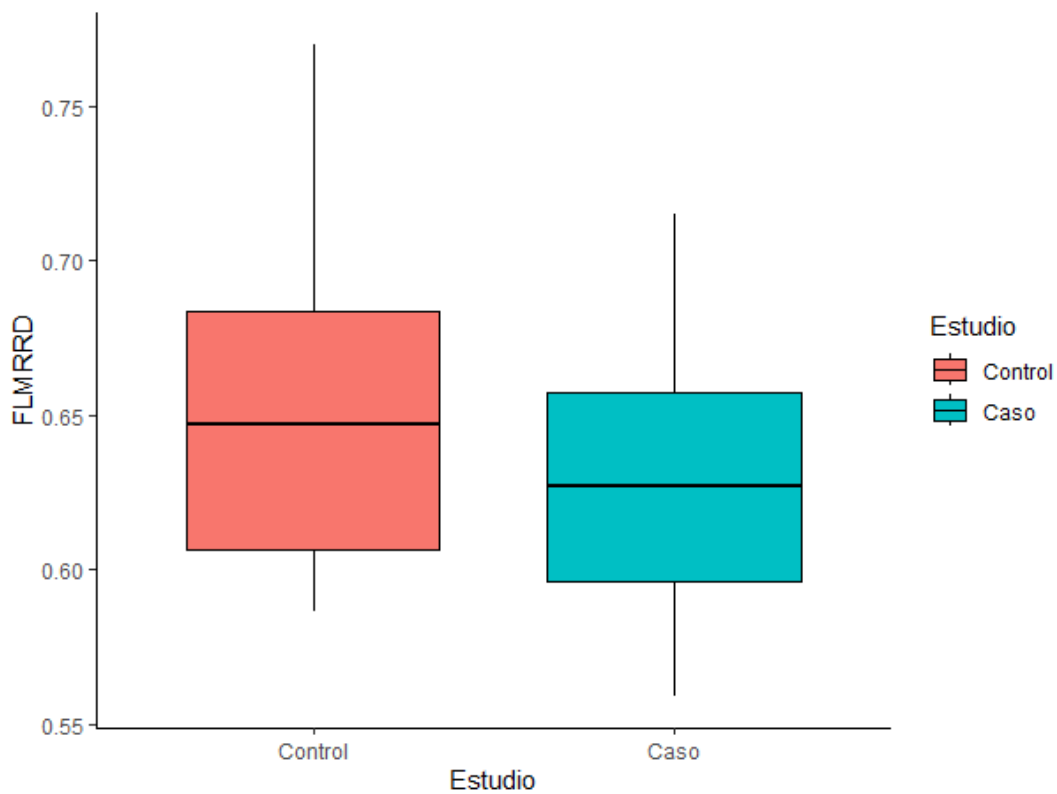


Ilustración 34.- Gráfica de cajas y bigotes del RD del fascículo longitudinal medio derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

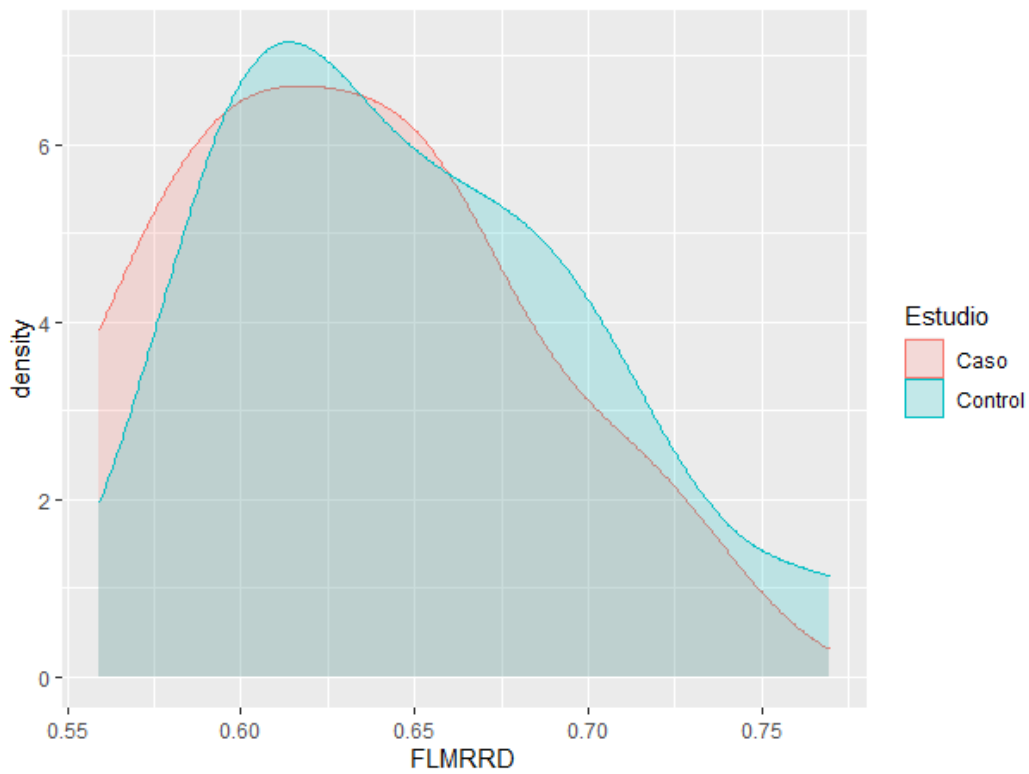
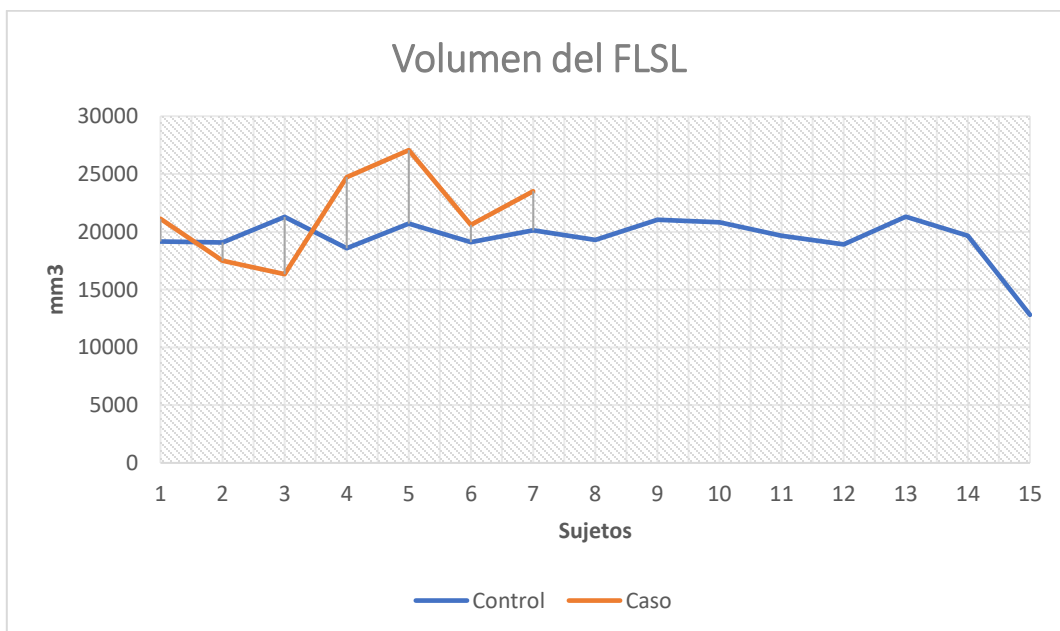
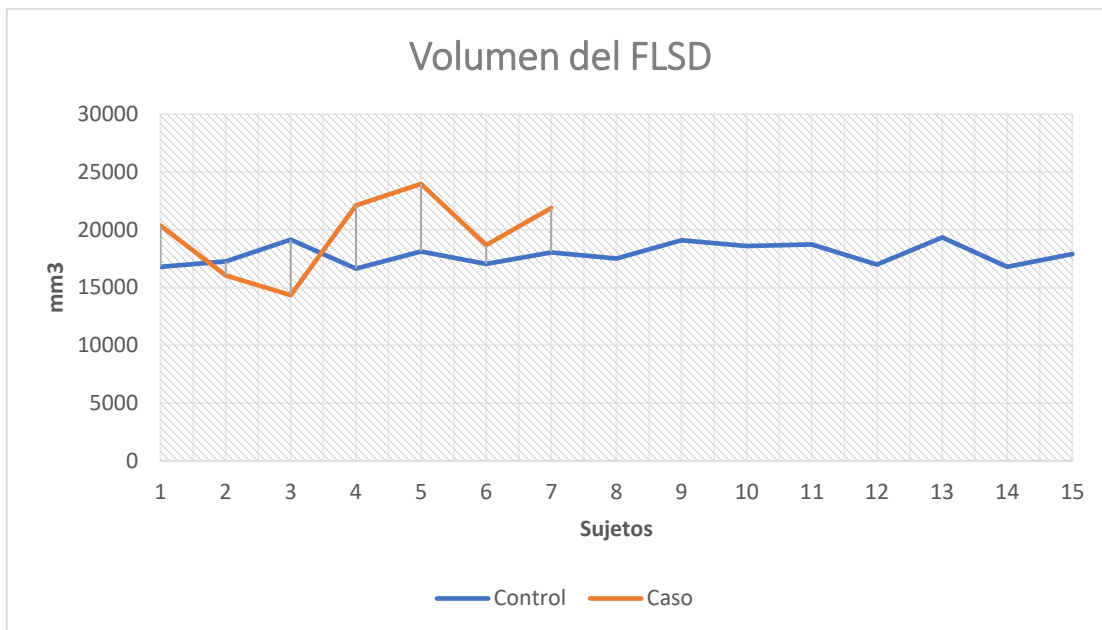


Ilustración 35.- Gráfica de distribución de los valores del RD del fascículo longitudinal medio derecho

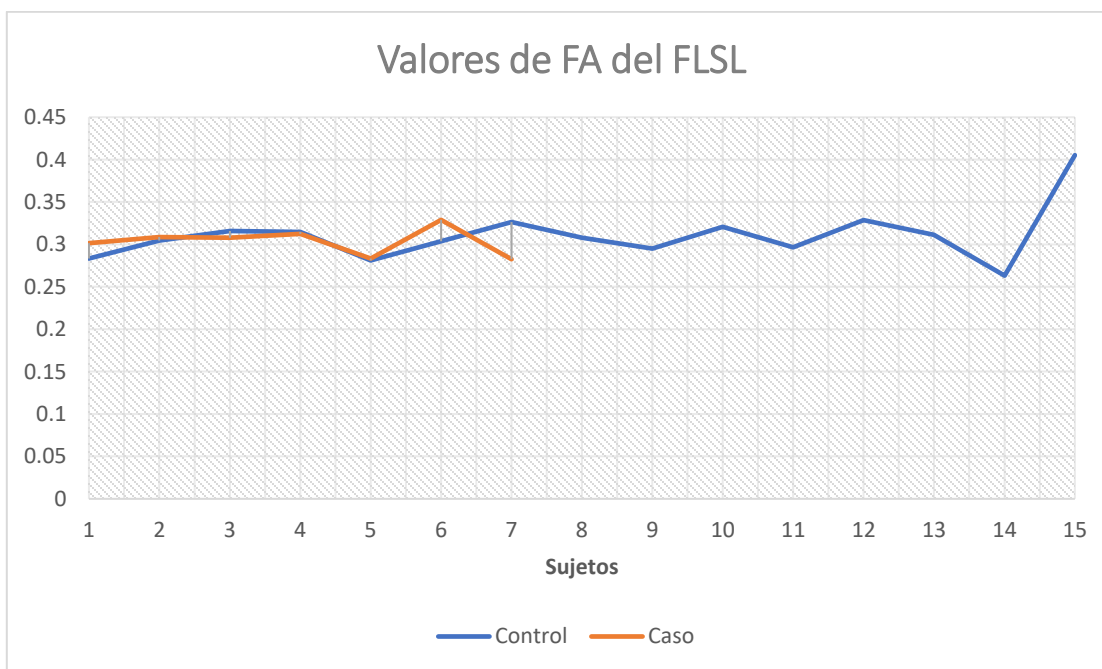
### VIII.III Fascículo Longitudinal Superior Izquierdo y Derecho



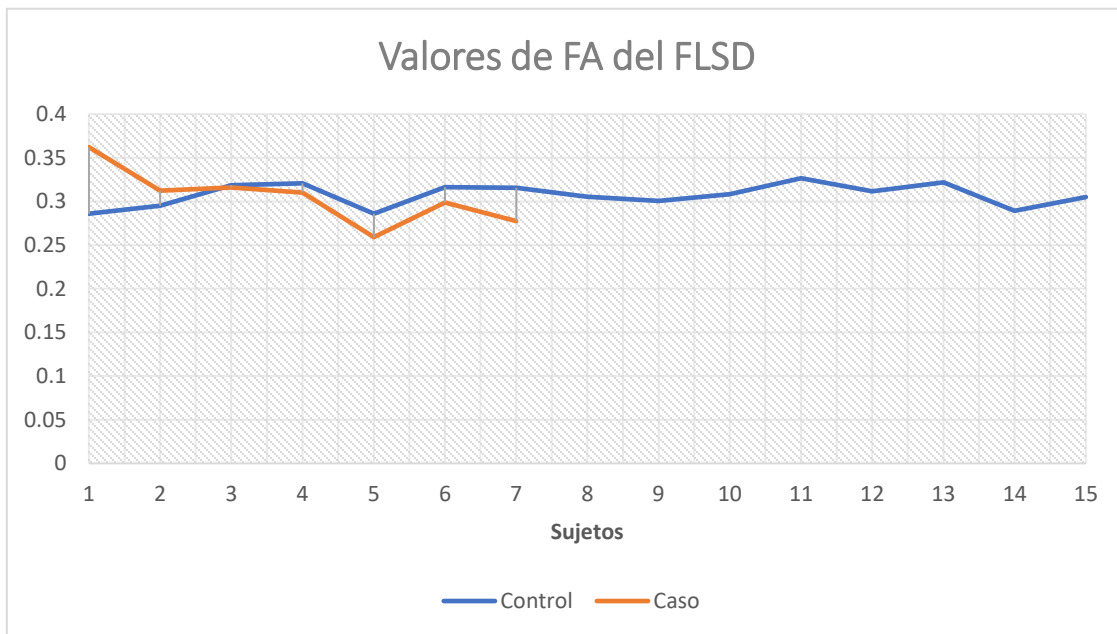
Gráfica 17.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal superior izquierdo



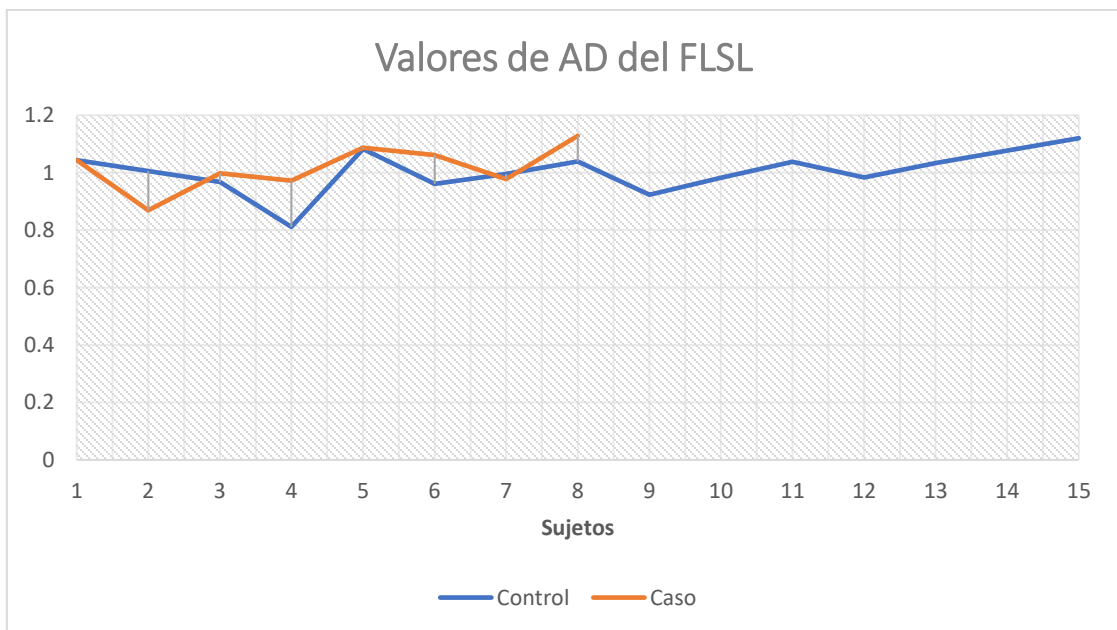
Gráfica 18.- Comparación gráfica del volumen del área del fascículo longitudinal superior derecho



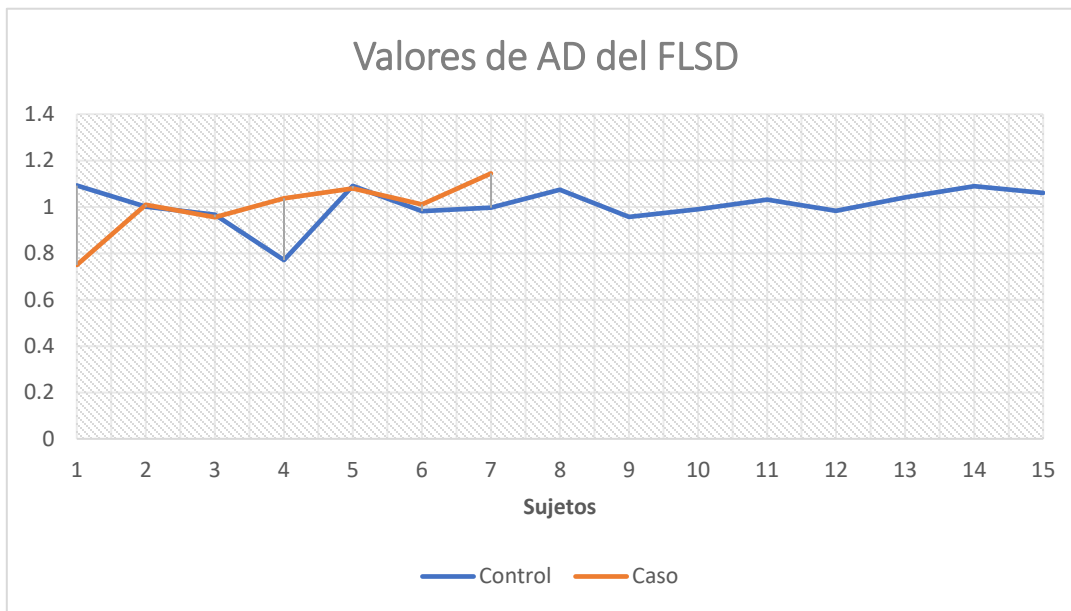
Gráfica 19.- Comparación gráfica del FA del área del fascículo longitudinal superior izquierdo



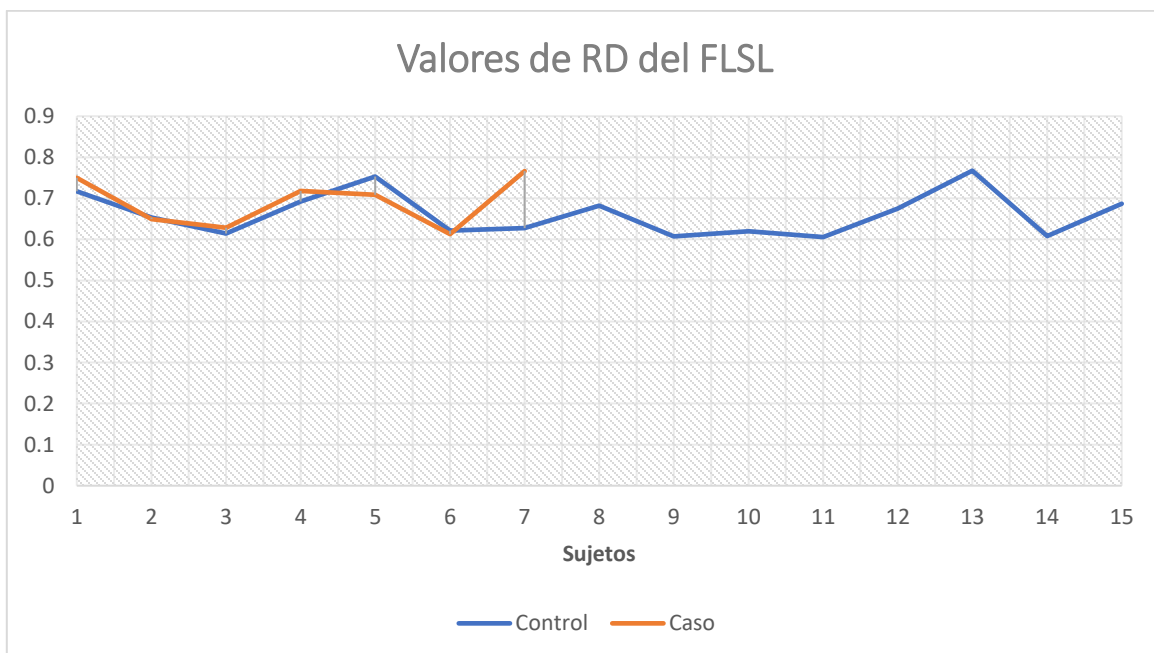
Gráfica 20.- Comparación gráfica del FA del área del fascículo longitudinal superior derecho



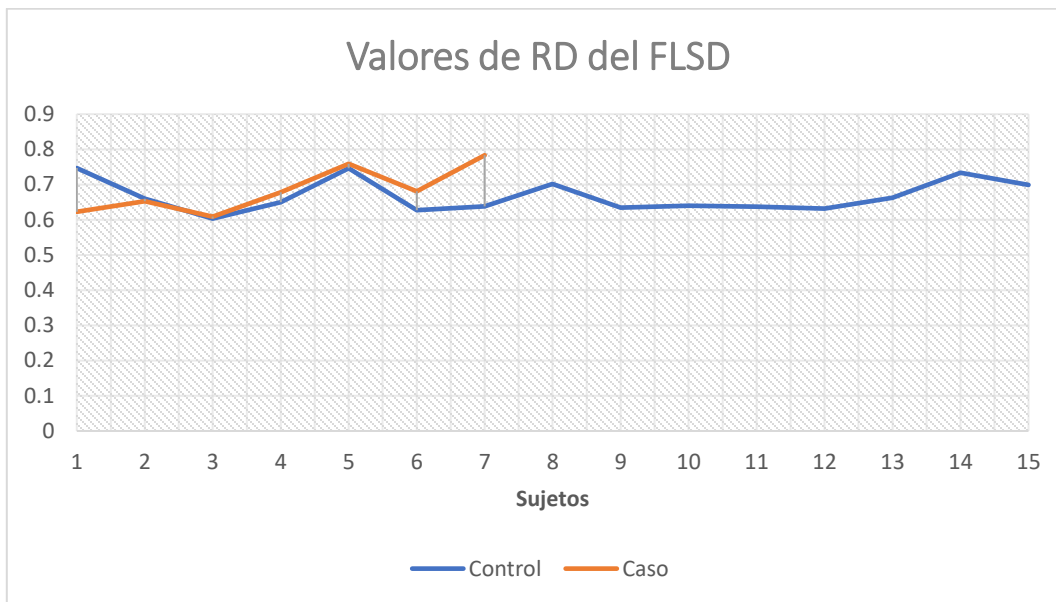
Gráfica 21.-Comparación gráfica del AD del área del fascículo longitudinal superior izquierdo



Gráfica 22.- Comparación gráfica del AD del área del fascículo longitudinal superior derecho



Gráfica 23.- Comparación gráfica del RD del área del fascículo longitudinal superior izquierdo



Gráfica 24.- Comparación gráfica del RD del área del fascículo longitudinal superior derecho

| Resultados de prueba estadística del volumen del Fascículo Longitudinal superior izquierdo y derecho |                                                                            |                            |                            |          |                                                            |                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                      | Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |          | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05<br>(valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05<br>(Valor de p-valor) |
|                                                                                                      |                                                                            |                            | Controles                  | Casos    |                                                            |                                                                            |
| Izquierdo                                                                                            | 0.1179                                                                     | T- de Student              | 17861.87                   | 19622.67 | 0.04826                                                    | 0.211                                                                      |
| Derecho                                                                                              | 0.1915                                                                     | T-de Student               | 17861.01                   | 18861.20 | 8.045e-05                                                  | 0.2325                                                                     |

Tabla 13.- Resultados estadísticos del volumen del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho

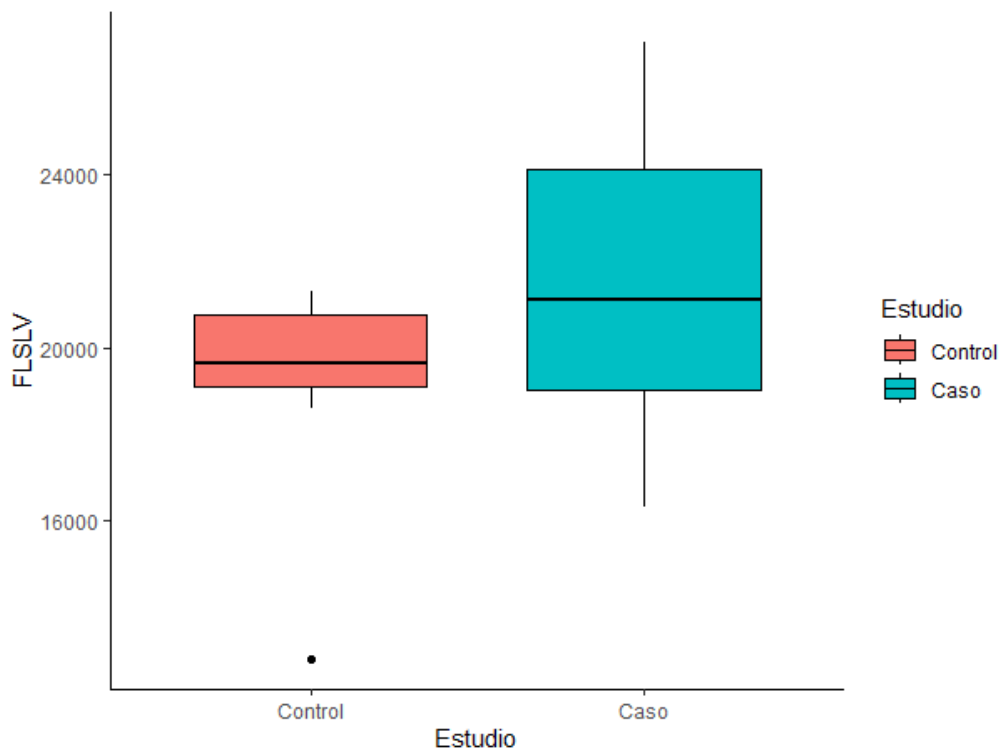


Ilustración 36.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

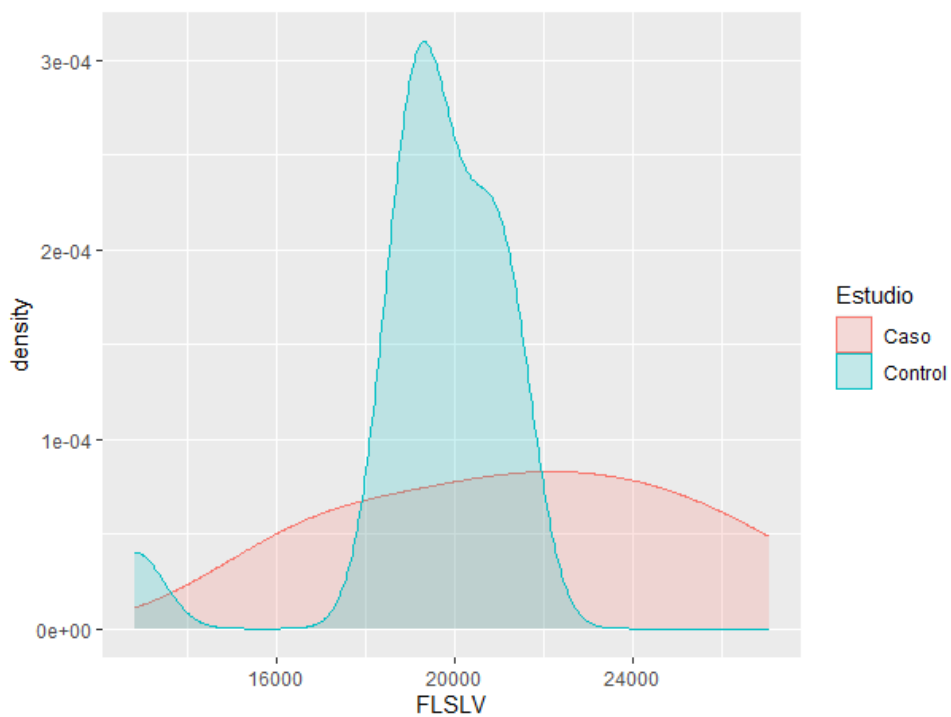


Ilustración 37.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal superior izquierdo.



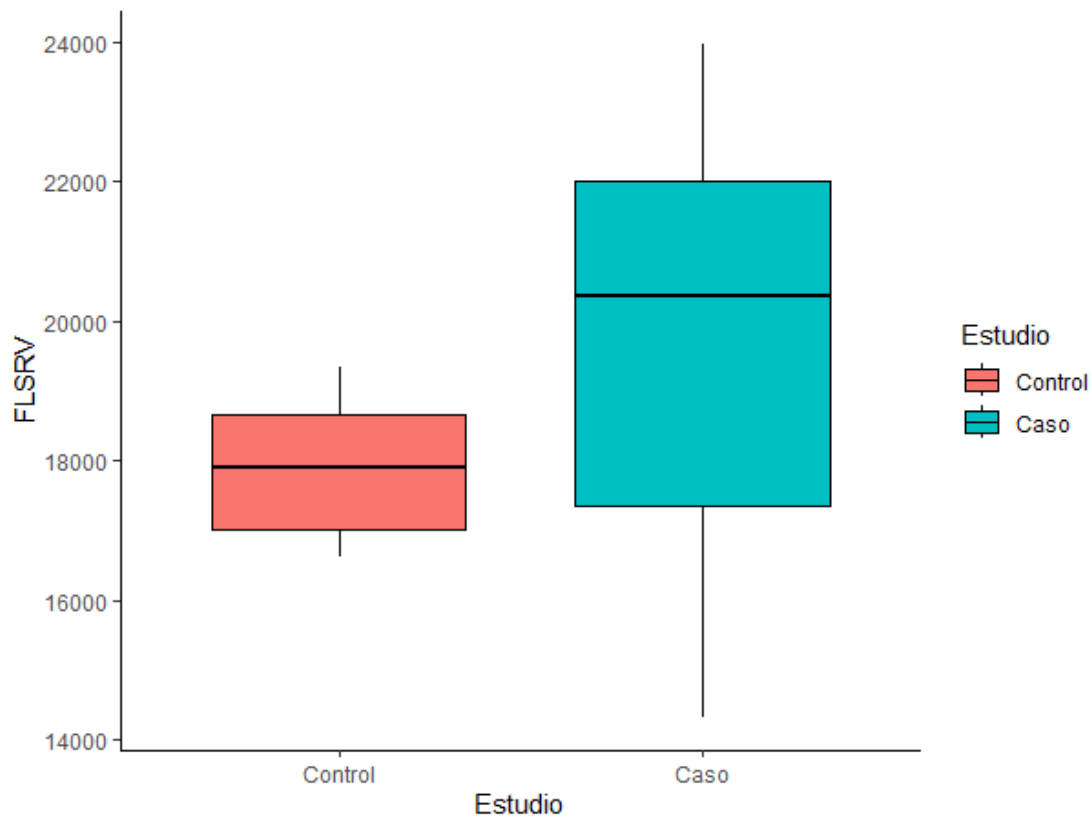


Ilustración 38.- Gráfica de cajas y bigotes de volumen del fascículo longitudinal superior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

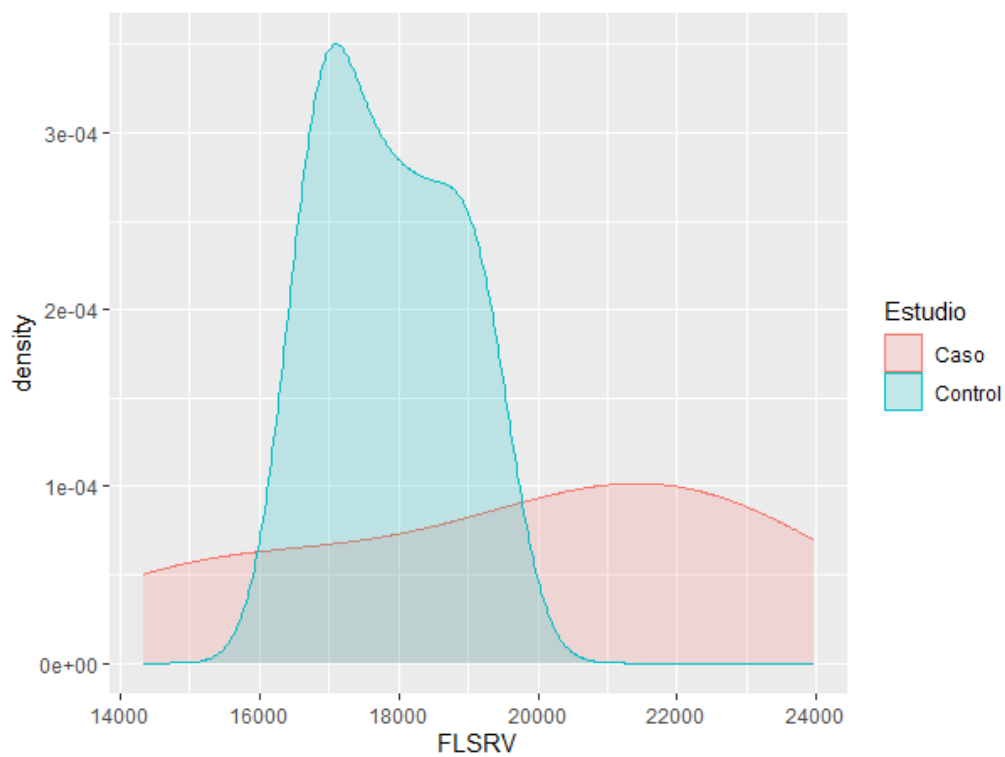


Ilustración 39.- Gráfica de distribución de los valores de volumen del fascículo longitudinal superior derecho.

| Resultados de prueba estadística de FA del Fascículo Longitudinal superior izquierdo y derecho |                                                                        |                            |                            |           |                                                         |                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                                |                                                                        |                            | Controles                  | Casos     |                                                         |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                      | 0.001252                                                               | U Mann Whitney             | 0.307755                   | 0.307806  | N/P                                                     | 0.7833                                                                  |
| Derecho                                                                                        | 0.2586                                                                 | T-de Student               | 0.3071003                  | 0.3052229 | 0.005763                                                | 0.8875                                                                  |

Tabla 14.- Resultados estadísticos del FA del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho

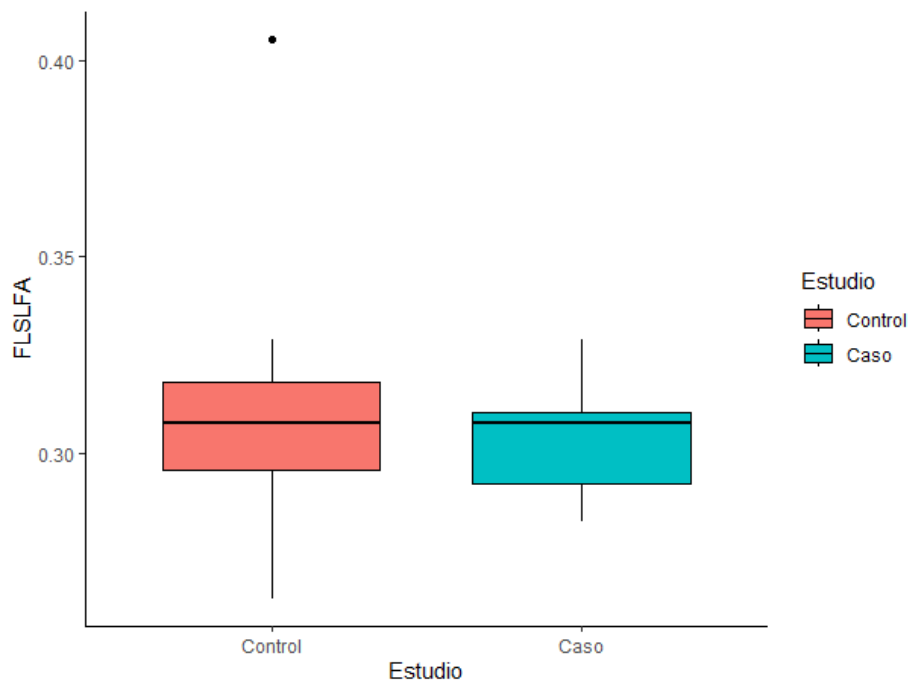


Ilustración 40.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

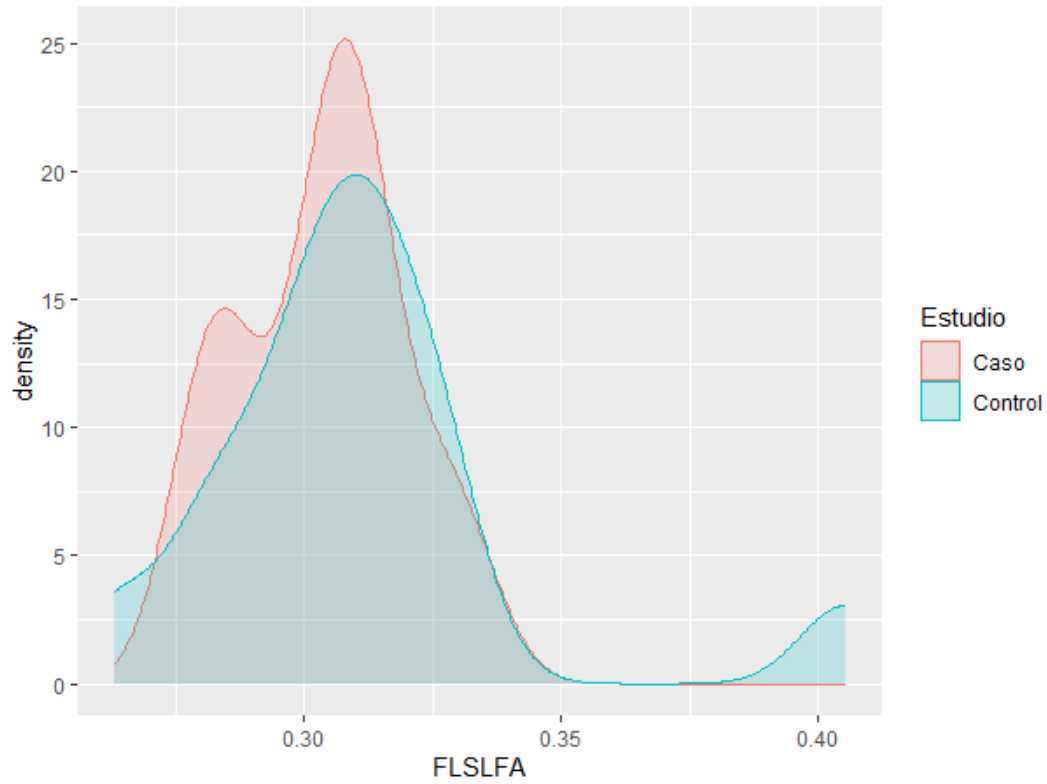


Ilustración 41.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal superior izquierdo.

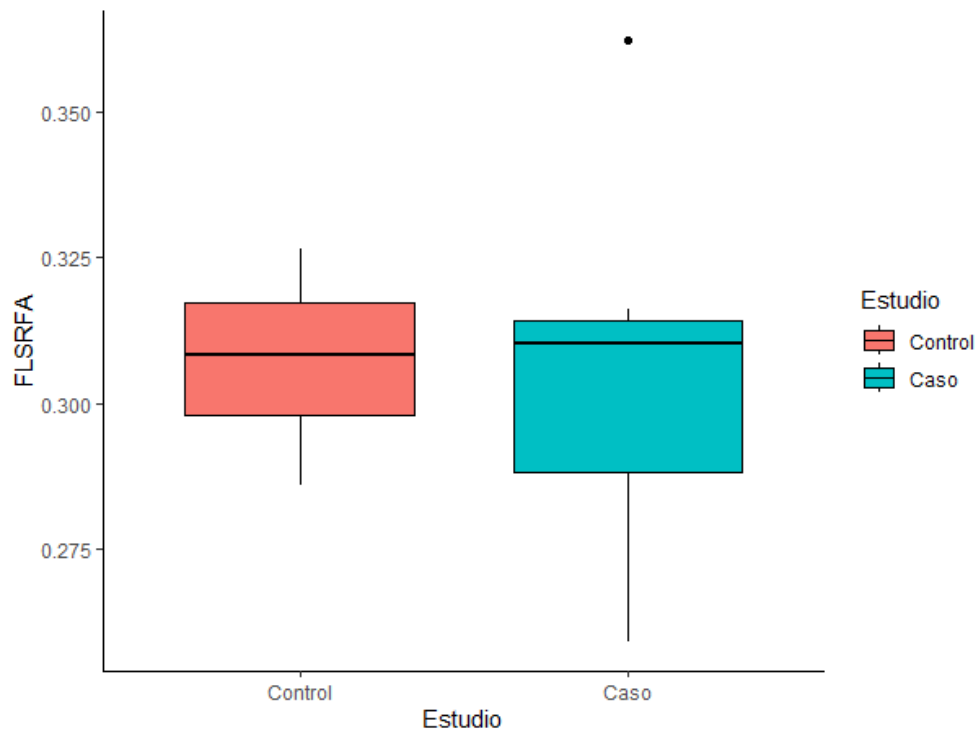


Ilustración 42.- Gráfica de cajas y bigotes de FA del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

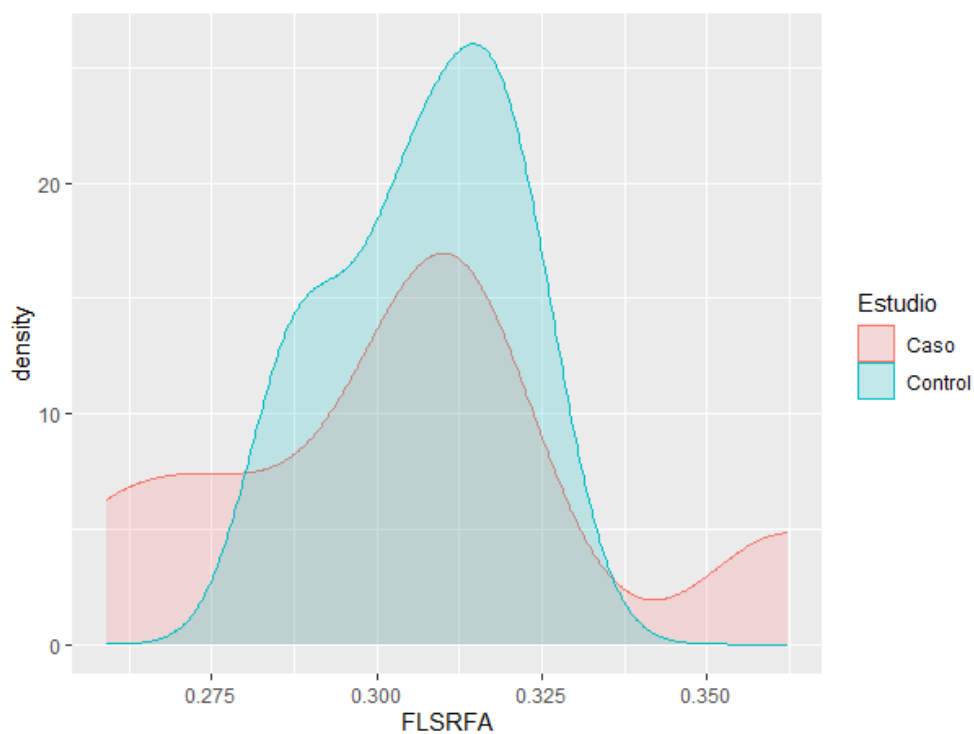


Ilustración 43.- Gráfica de distribución de los valores de FA del fascículo longitudinal superior derecho.

| Resultados de prueba estadística de AD del Fascículo Longitudinal superior izquierdo y derecho |                                                                        |                            |                            |           |                                                         |                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                                |                                                                        |                            | Controles                  | Casos     |                                                         |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                      | 0.3713                                                                 | T- de Student              | 1.004207                   | 1.013290  | 0.5983                                                  | 0.8025                                                                  |
| Derecho                                                                                        | 0.002886                                                               | U Mann Whitney             | 1.0083042                  | 0.9978521 | N/P                                                     | 1                                                                       |

Tabla 15.-Resultados estadísticos de AD del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho.

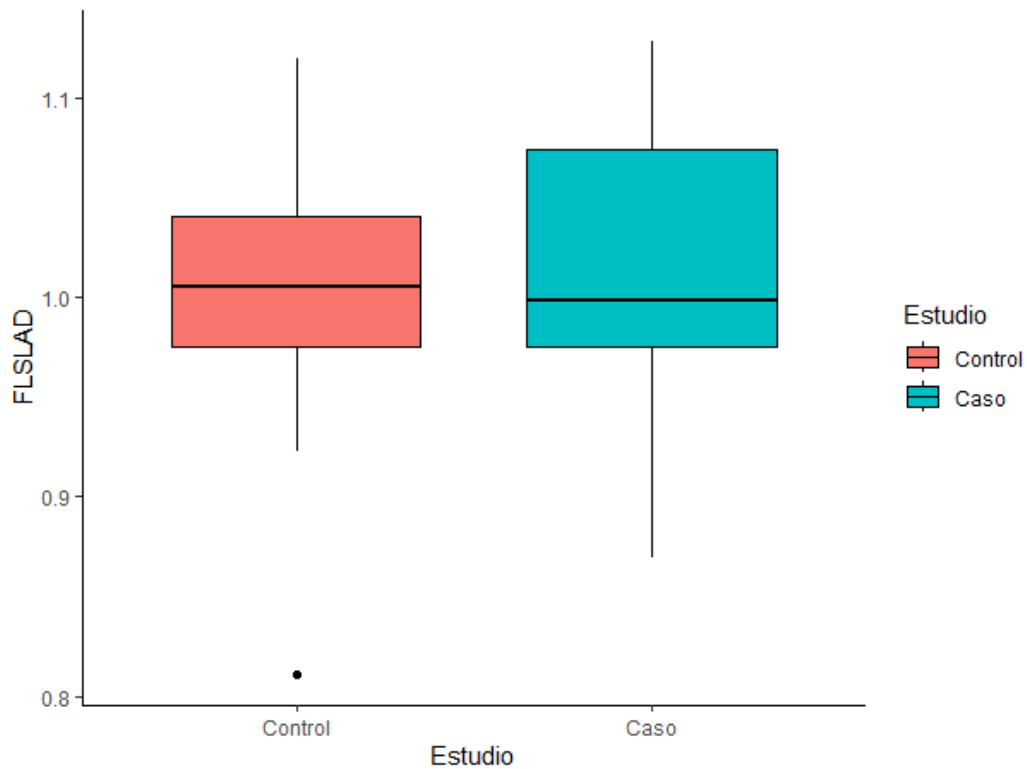


Ilustración 44.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

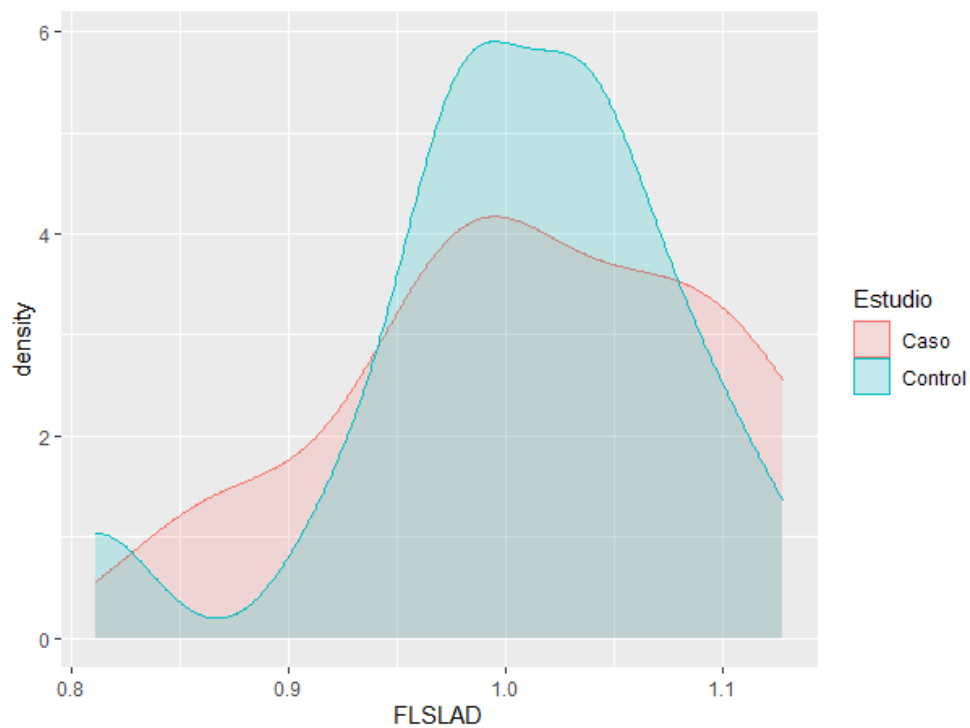


Ilustración 45.- Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal superior izquierdo.

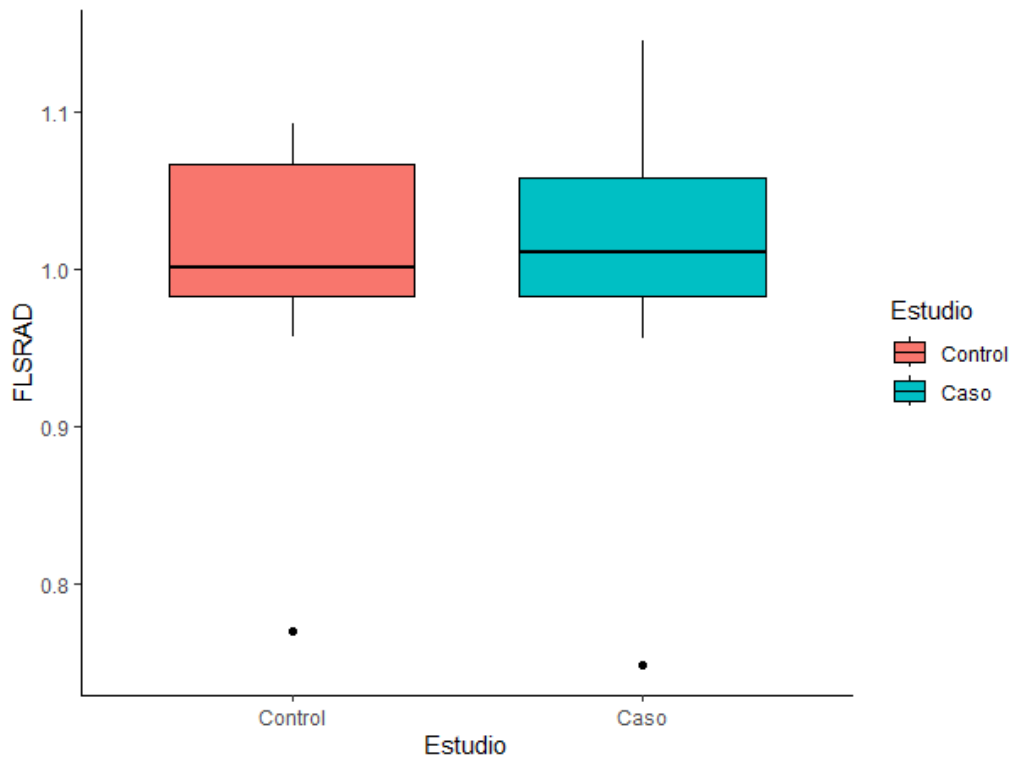


Ilustración 46.- Gráfica de cajas y bigotes de AD del fascículo longitudinal superior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

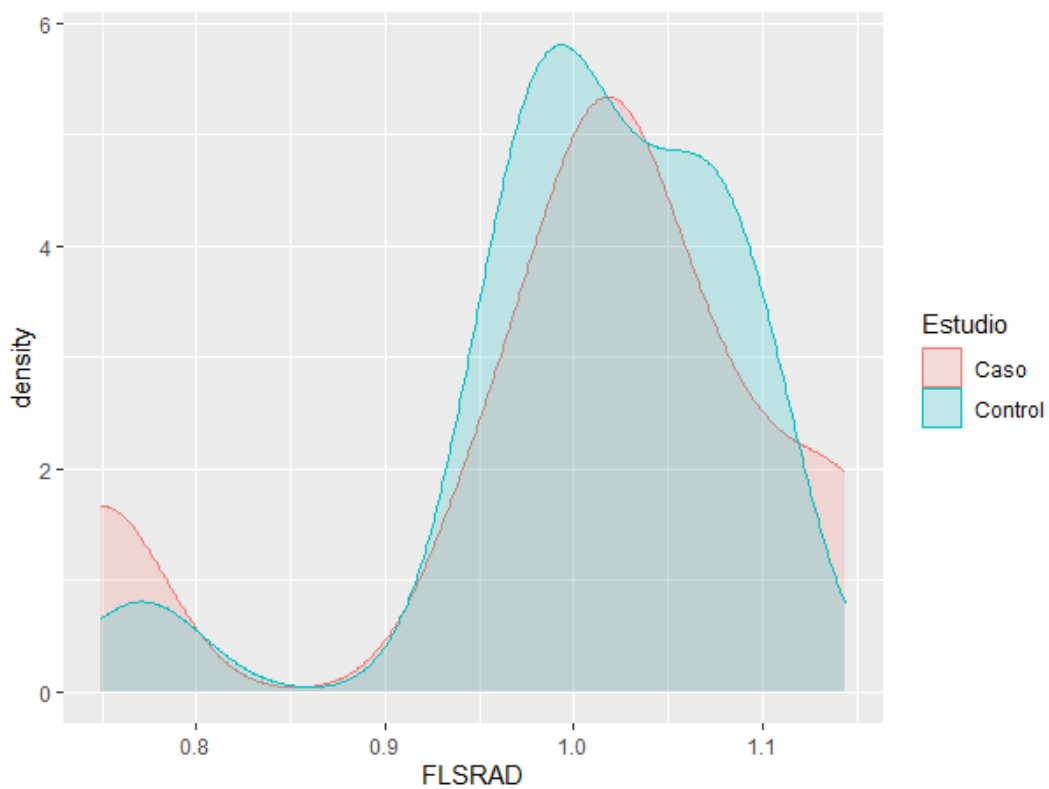


Ilustración 47.- Gráfica de distribución de los valores de AD del fascículo longitudinal superior derecho.

| Resultados de prueba estadística de RD del Fascículo Longitudinal superior izquierdo y derecho |                                                                        |                            |                            |           |                                                         |                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                                |                                                                        |                            | Controles                  | Casos     |                                                         |                                                                         |
| Izquierdo                                                                                      | 0.02422                                                                | U Mann Whitney             | 0.6620019                  | 0.690434  | N/P                                                     | 0.2666                                                                  |
| Derecho                                                                                        | 0.05163                                                                | T-de Student               | 0.6834623                  | 0.6834623 | 0.2642                                                  | 0.5143                                                                  |

Tabla 15.-: Resultados estadísticos de RD del fascículo longitudinal superior izquierdo y derecho

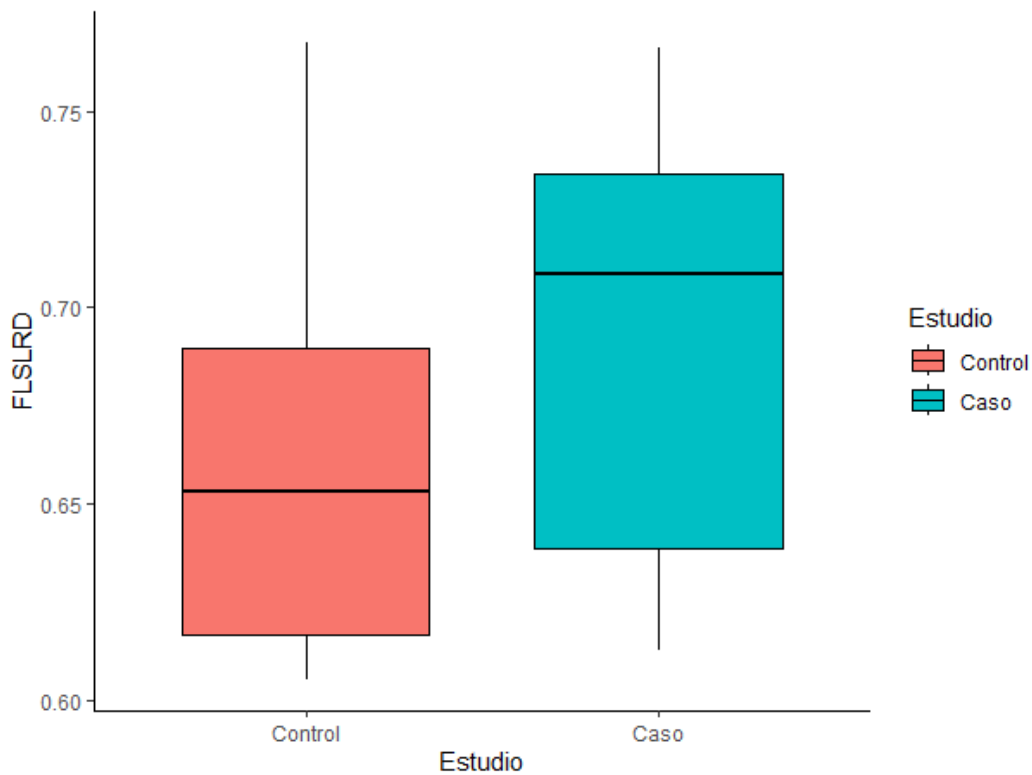


Ilustración 48.- Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal superior izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

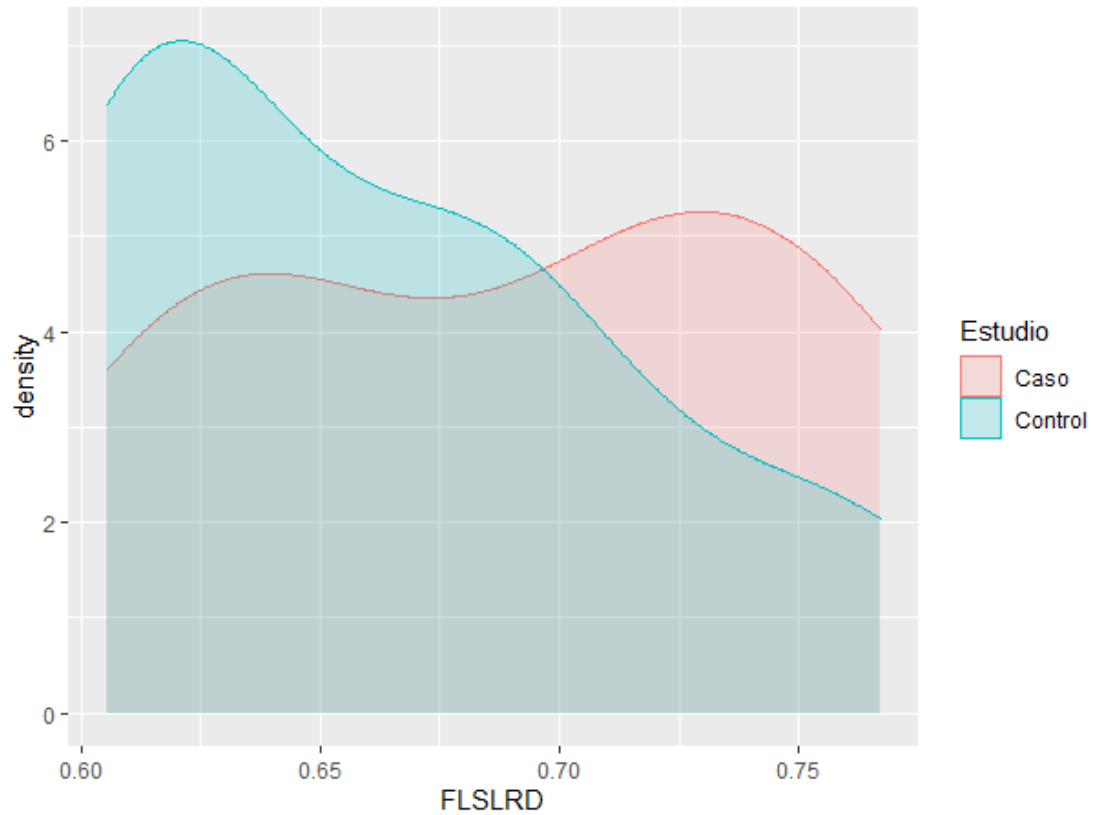


Ilustración 49.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal superior izquierdo.

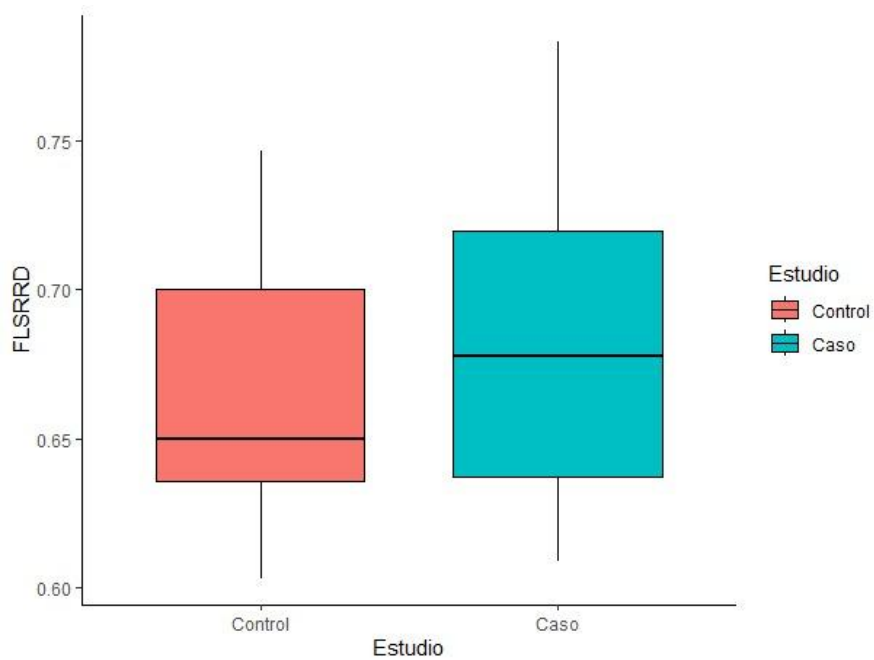


Ilustración 50.- Gráfica de cajas y bigotes de RD del fascículo longitudinal superior derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.



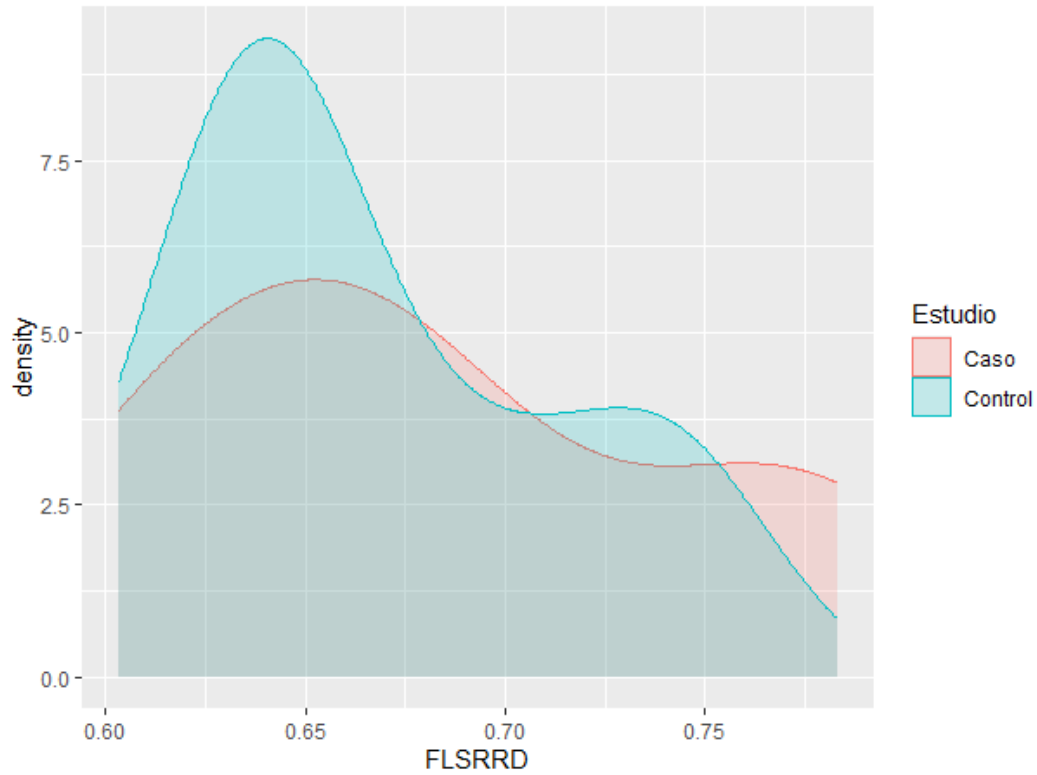
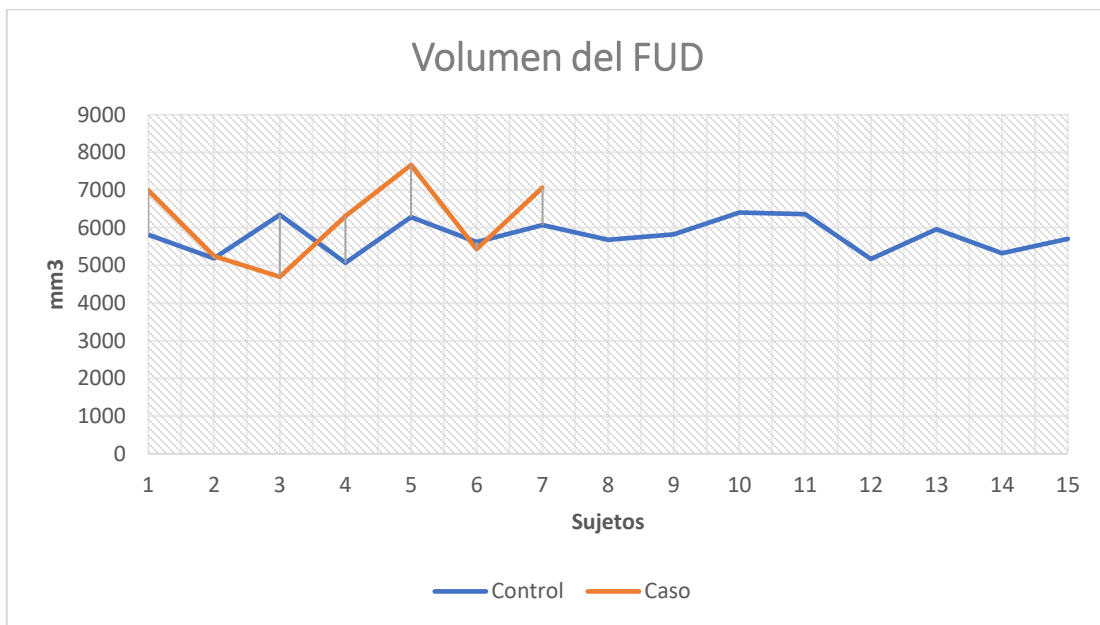
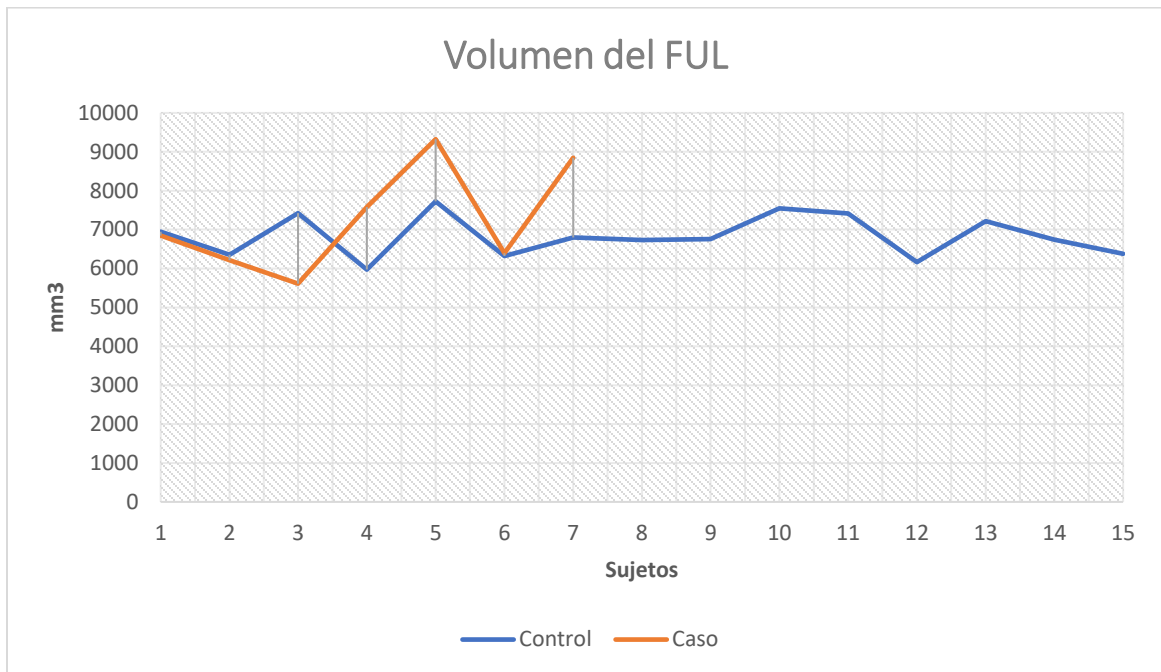


Ilustración 51.- Gráfica de distribución de los valores de RD del fascículo longitudinal superior derecho.

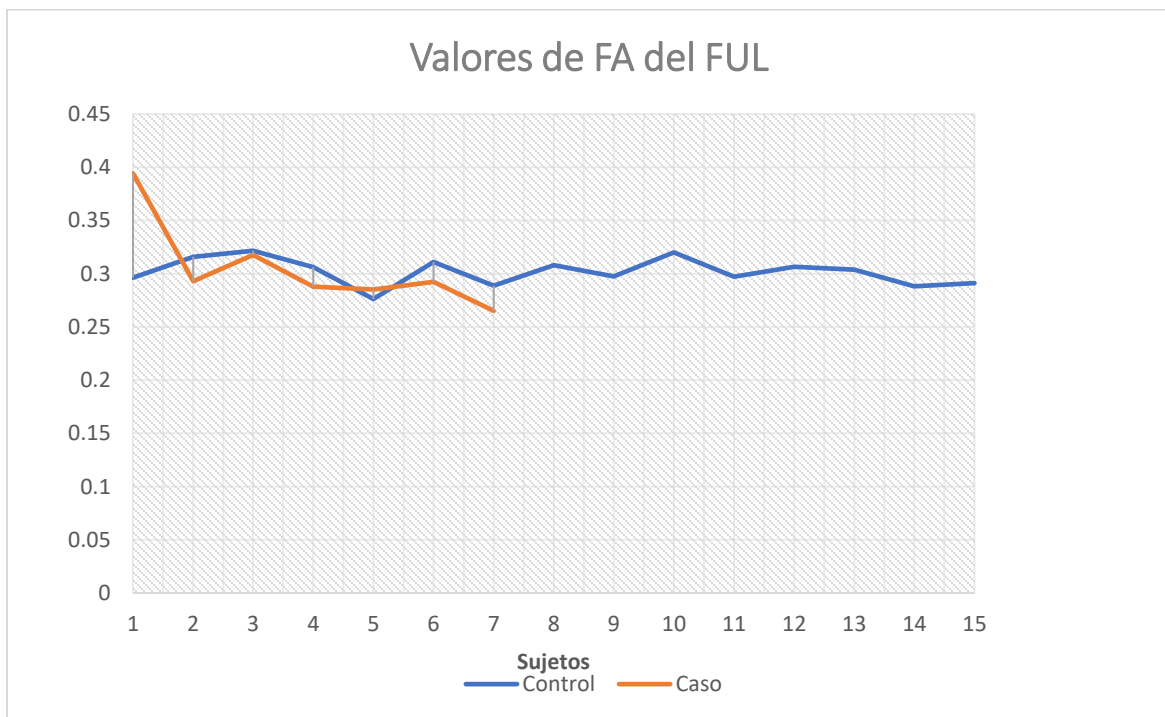
#### VII.IV Fascículo Uncinado Izquierdo y Derecho



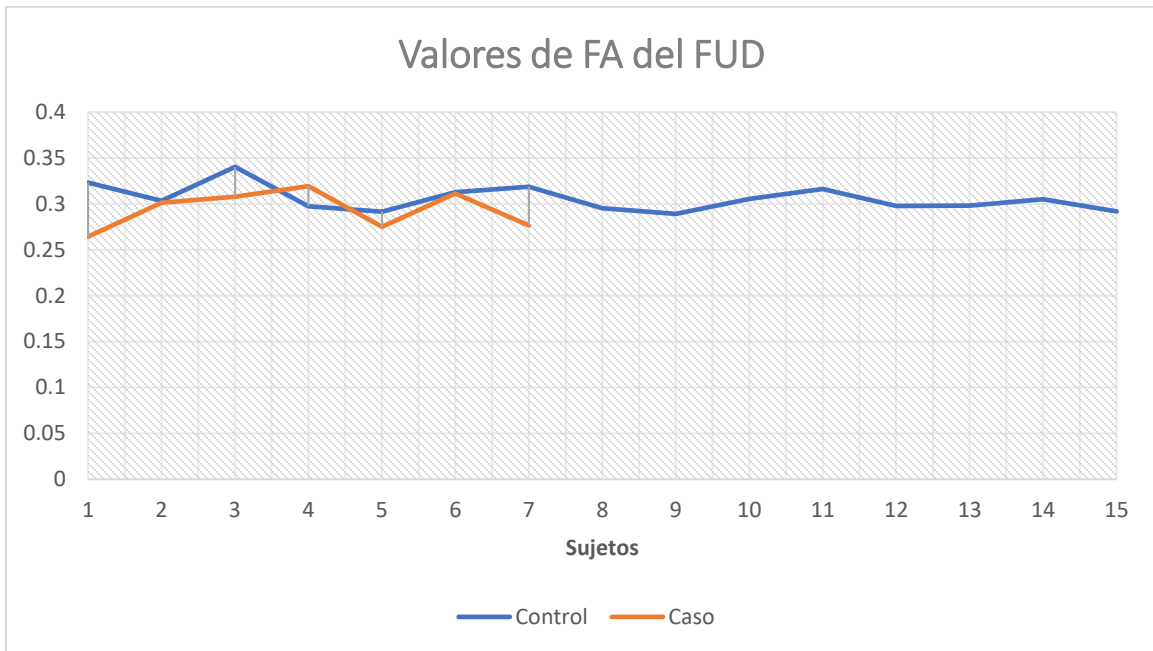
Gráfica 25.-Comparación gráfica del volumen del área del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.



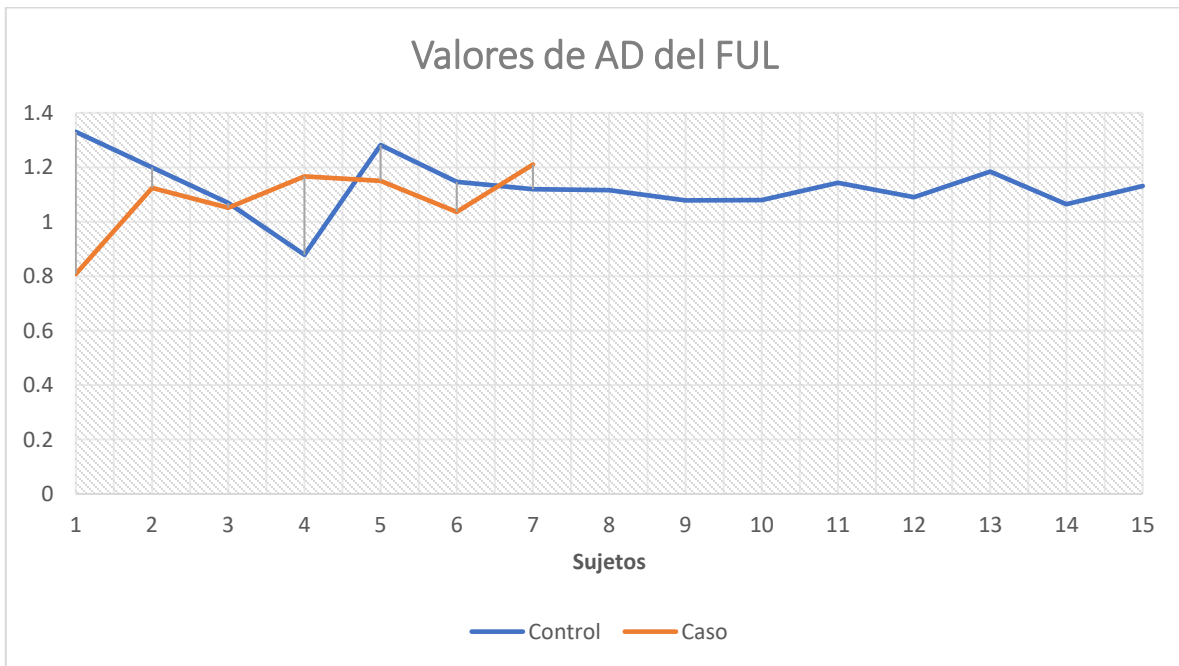
Gráfica 26.-Comparación gráfica del volumen del área del fascículo uncinado Izquierdo entre casos y controles.



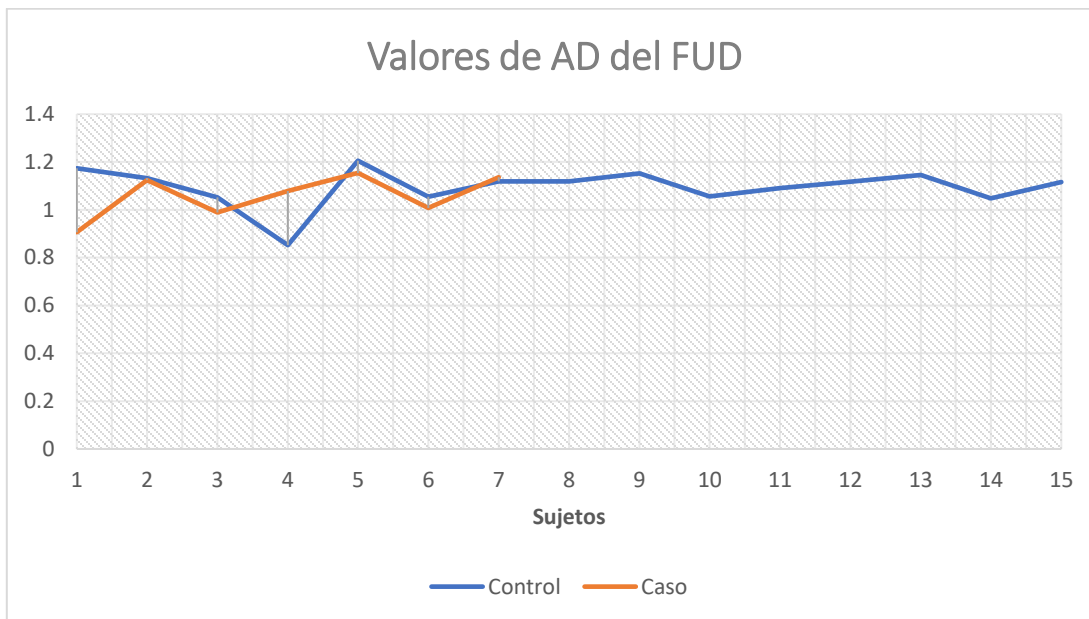
Gráfica 27.- Comparación gráfica de FA del fascículo uncinado izquierdo entre casos y controles.



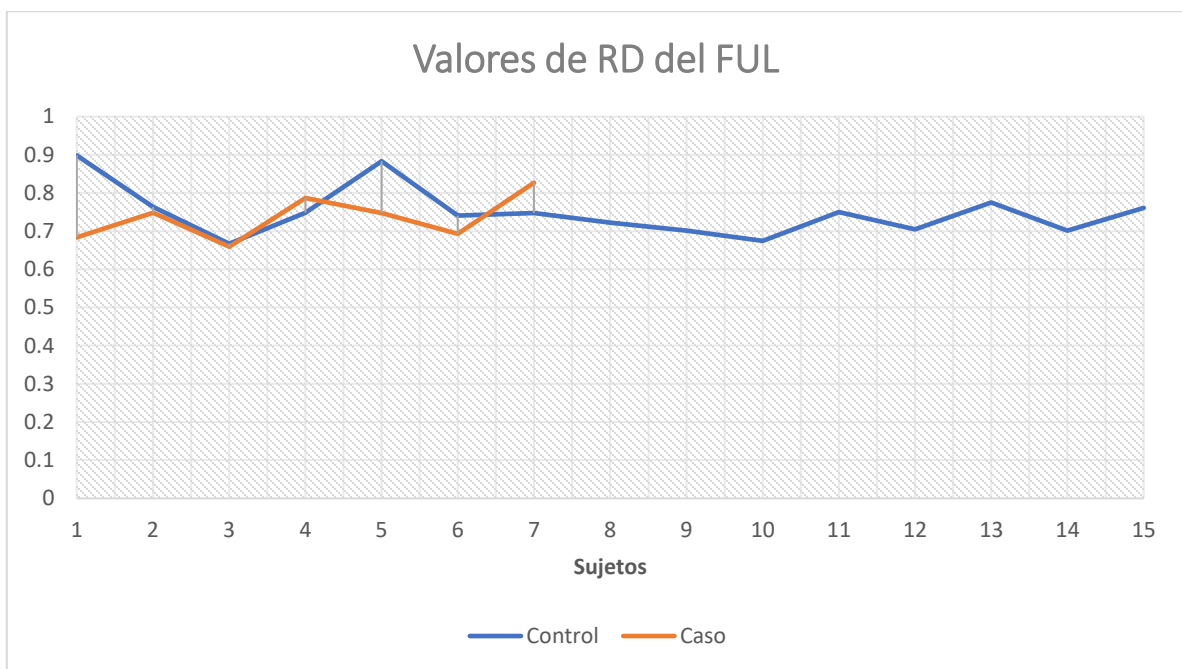
Gráfica 28.- Comparación gráfica de FA del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.



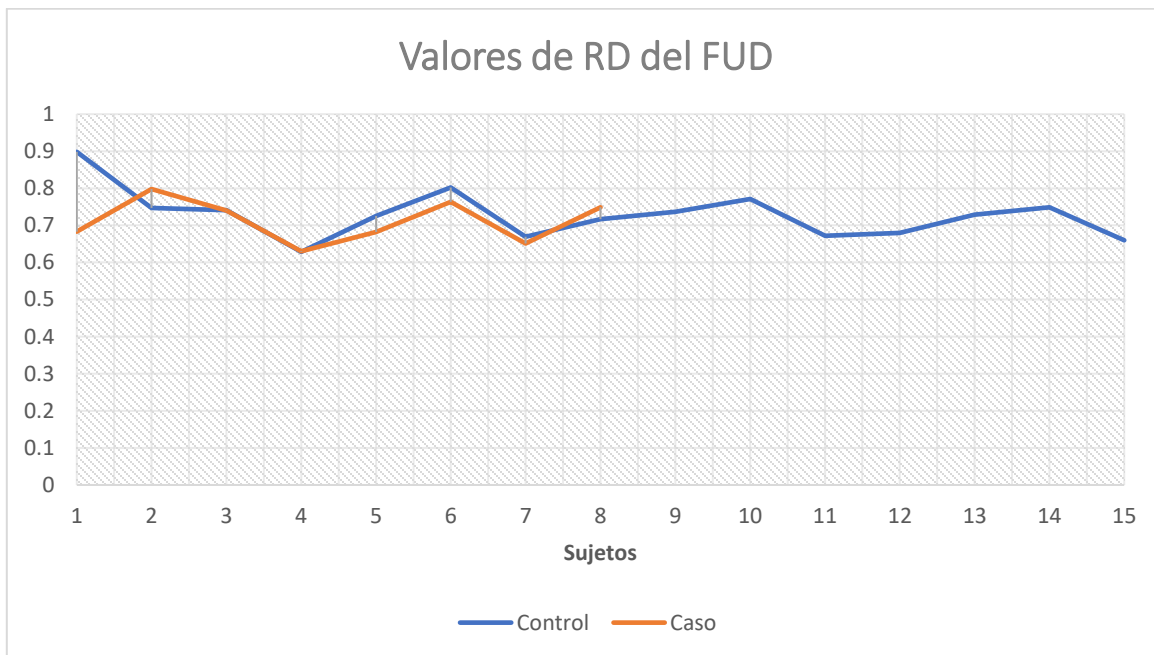
Gráfica 29.- Comparación gráfica de AD del fascículo uncinado izquierdo entre casos y controles.



Gráfica 30.- Comparación gráfica de AD del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.



Gráfica 31.- Comparación gráfica de RD del fascículo uncinado izquierdo entre casos y controles.



Gráfica 32.- Comparación gráfica de RD del fascículo uncinado derecho entre casos y controles.

| Resultados de prueba estadística de volumen del Fascículo uncinado izquierdo y derecho |                                                                        |                            |                            |          |                                                         |                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                        | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |          | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                        |                                                                        |                            | Controles                  | Casos    |                                                         |                                                                         |
| Izquierdo                                                                              | 0.05368                                                                | T- de Student              | 17861.87                   | 19622.67 | 0.003414                                                | 0.4594                                                                  |
| Derecho                                                                                | 0.5663                                                                 | T- de Student              | 5788.665                   | 6202.141 | 0.006039                                                | 0.3713                                                                  |

Tabla 16.- Resultados estadísticos de volumen del fascículo uncinado izquierdo y derecho

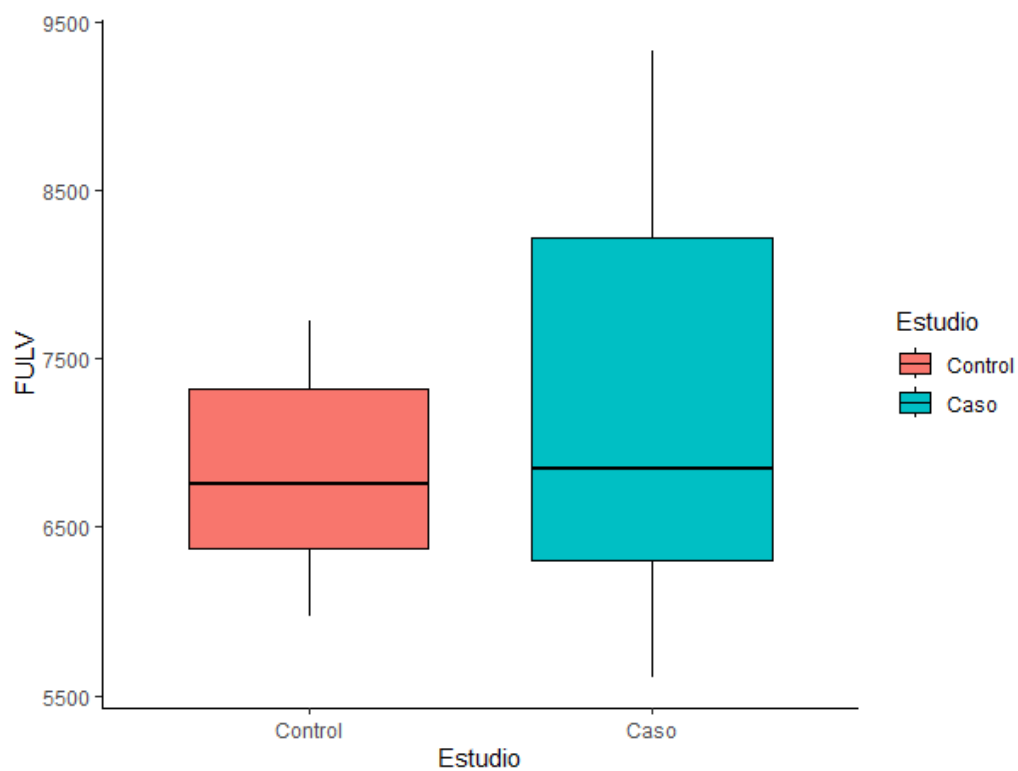


Ilustración 52.- Grafica de cajas y bigotes de volumen del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

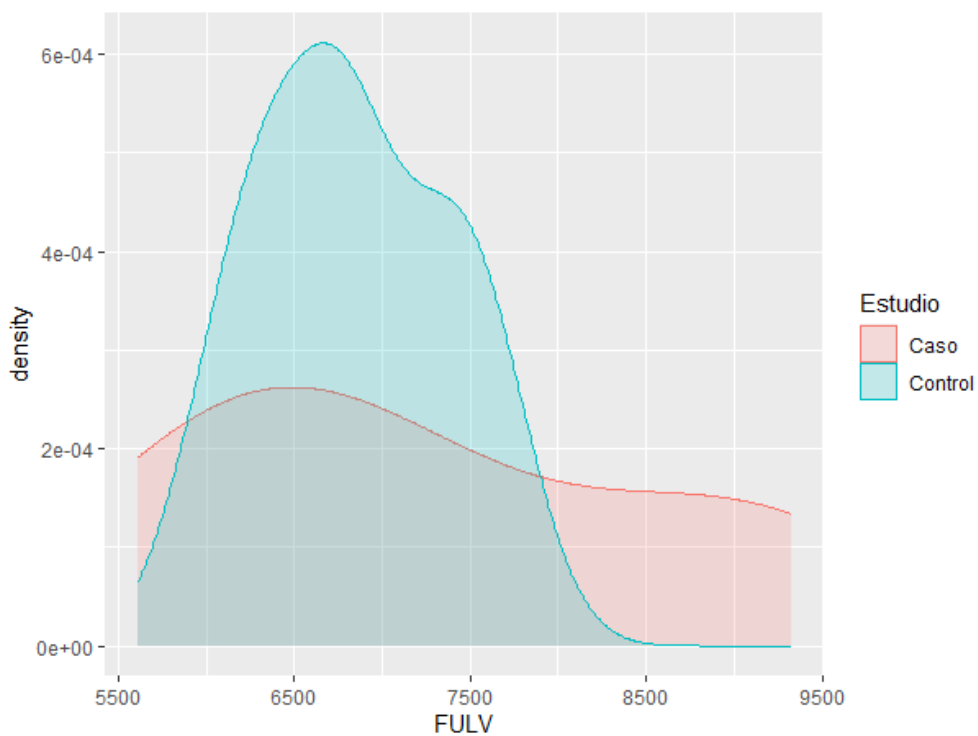


Ilustración 53.- Grafica de distribución de los valores de volumen del fascículo uncinado izquierdo

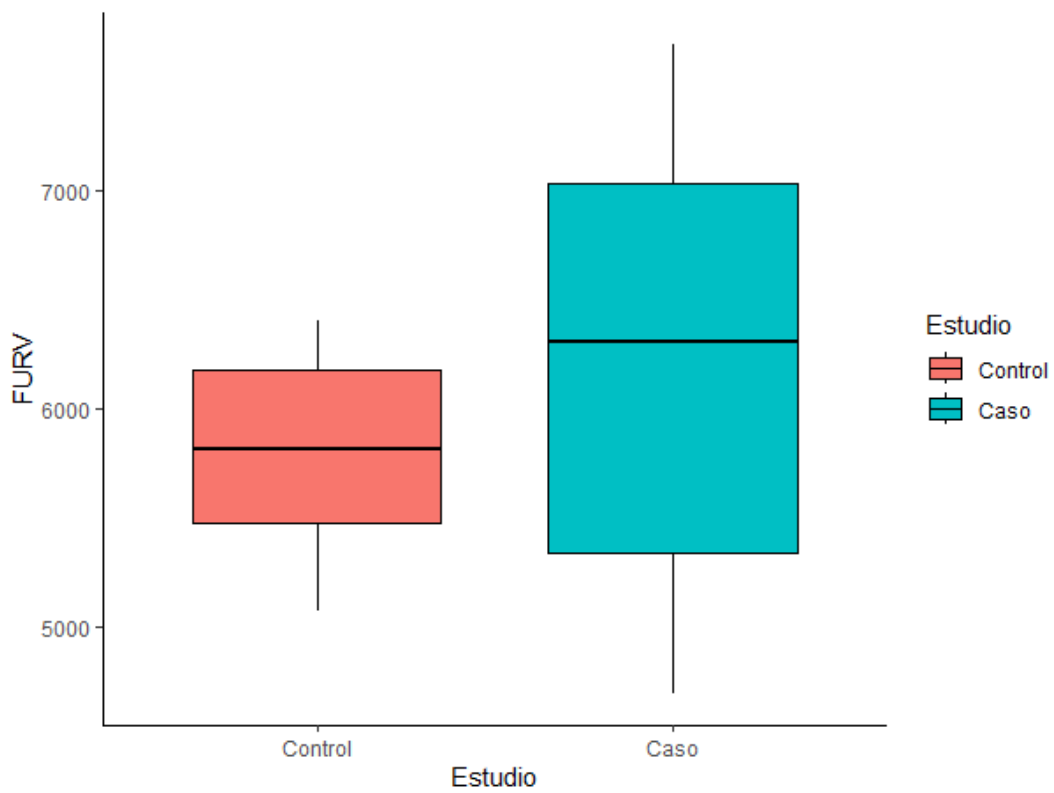


Ilustración 54.- Grafica de cajas y bigotes de volumen del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

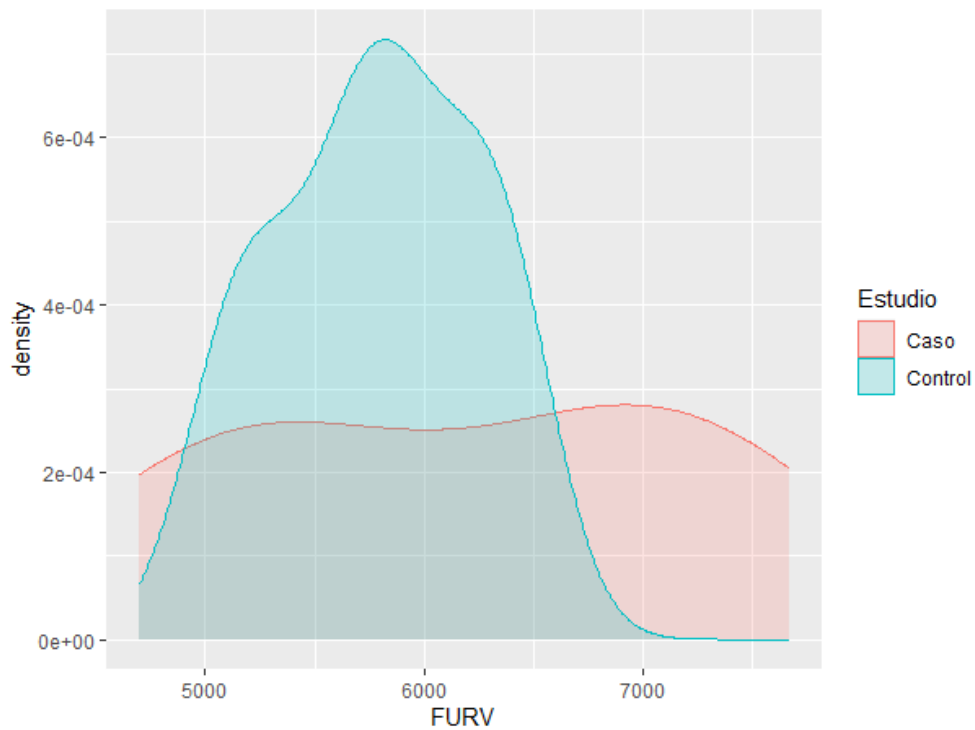


Ilustración 55.- Grafica de distribución de los valores de volumen del fascículo uncinado derecho.

| Resultados de prueba estadística de FA del Fascículo uncinado izquierdo y derecho |                                                                           |                            |                            |           |                                                            |                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05<br>(valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05<br>(Valor de p-valor) |
|                                                                                   |                                                                           |                            | Controles                  | Casos     |                                                            |                                                                            |
| Izquierdo                                                                         | 0.0003196                                                                 | U Mann Whitney             | 0.303864                   | 0.292460  | N/P                                                        | 0.3322                                                                     |
| Derecho                                                                           | 0.9593                                                                    | T- de Student              | 0.3057599                  | 0.2936770 | 0.1926                                                     | 0.1284                                                                     |

Tabla 17.- Resultados estadísticos de FA del fascículo uncinado izquierdo y derecho

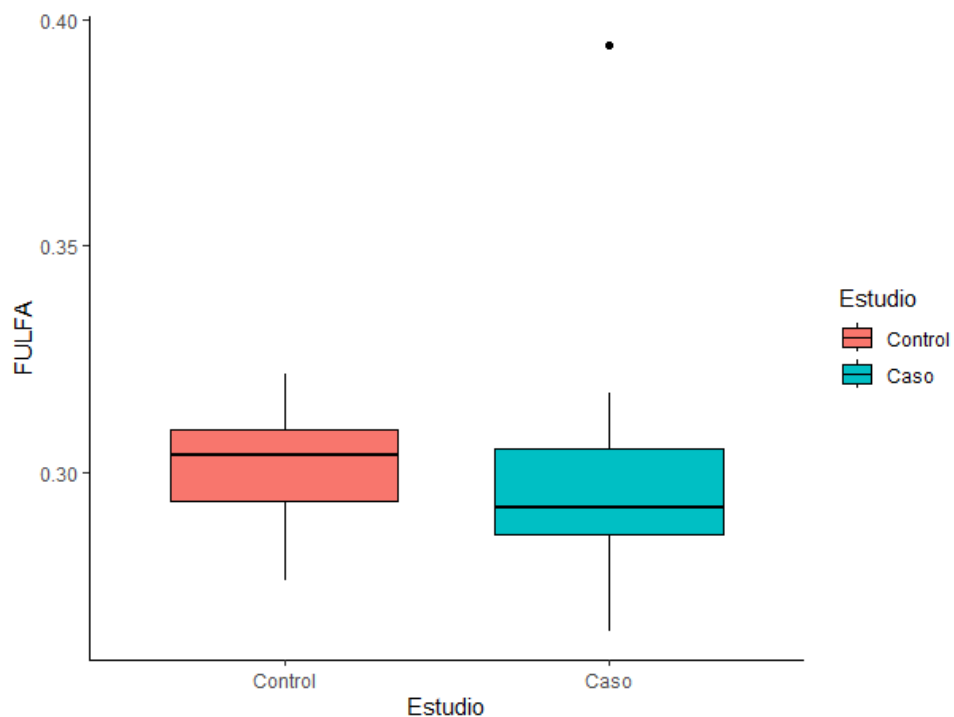


Ilustración 56.-Grafica de cajas y bigotes del FA del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.



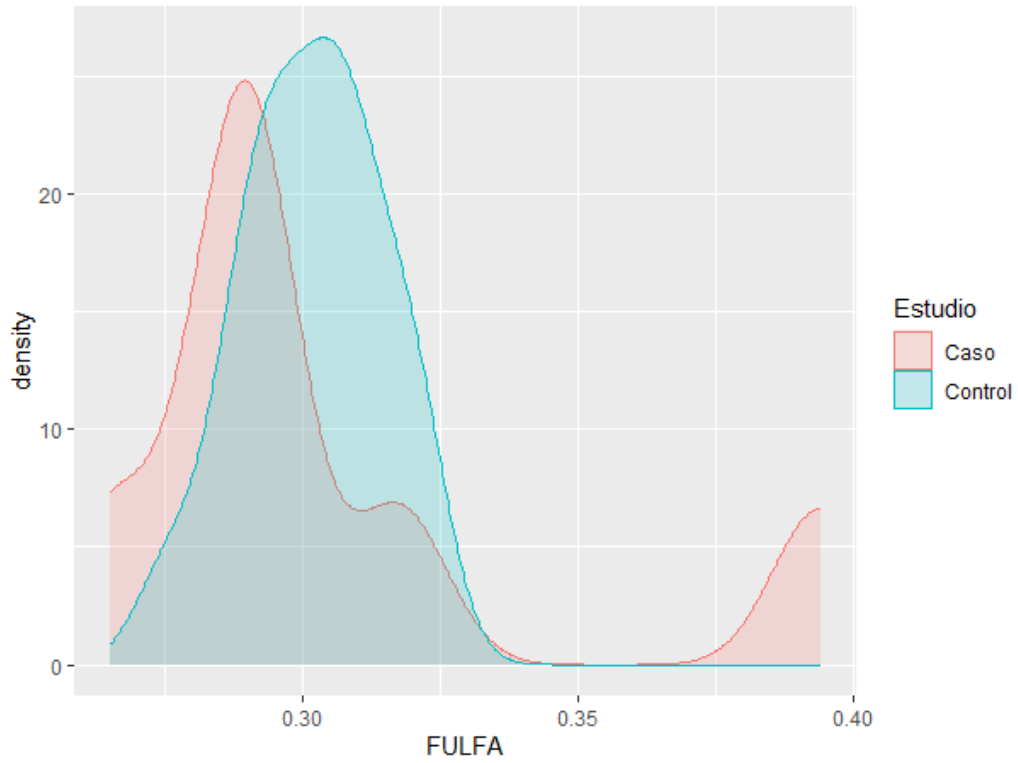


Ilustración 57.- Grafica de distribución de los valores de FA del fascículo uncinado izquierdo

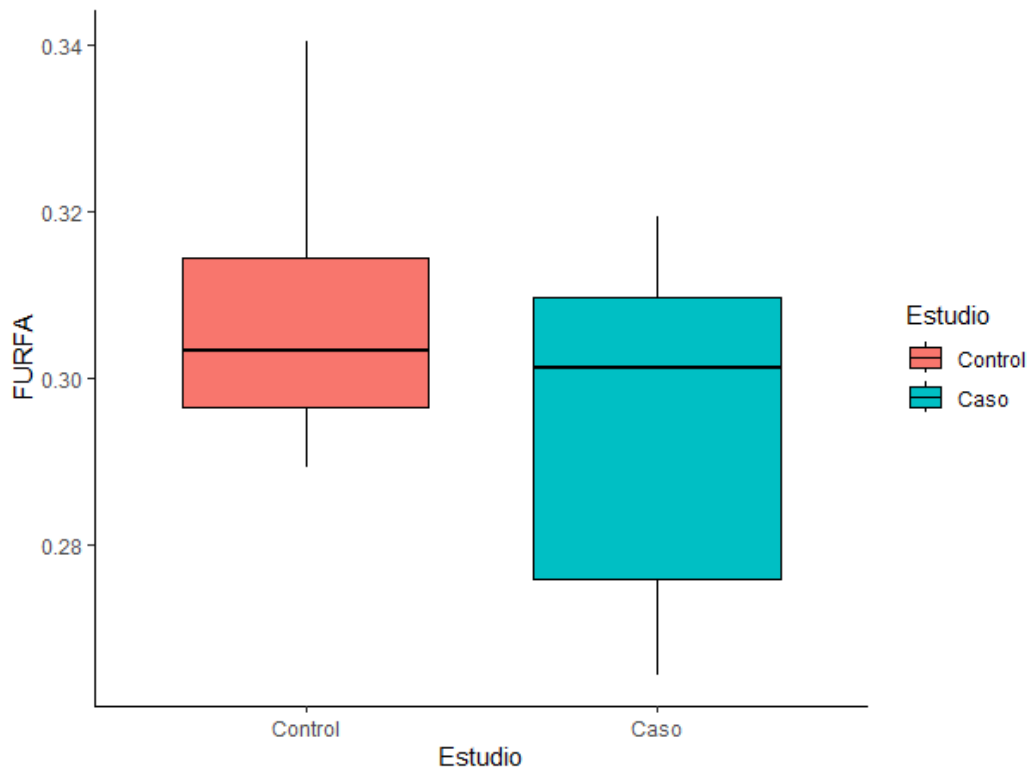


Ilustración 58.- Grafica de cajas y bigotes de FA del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

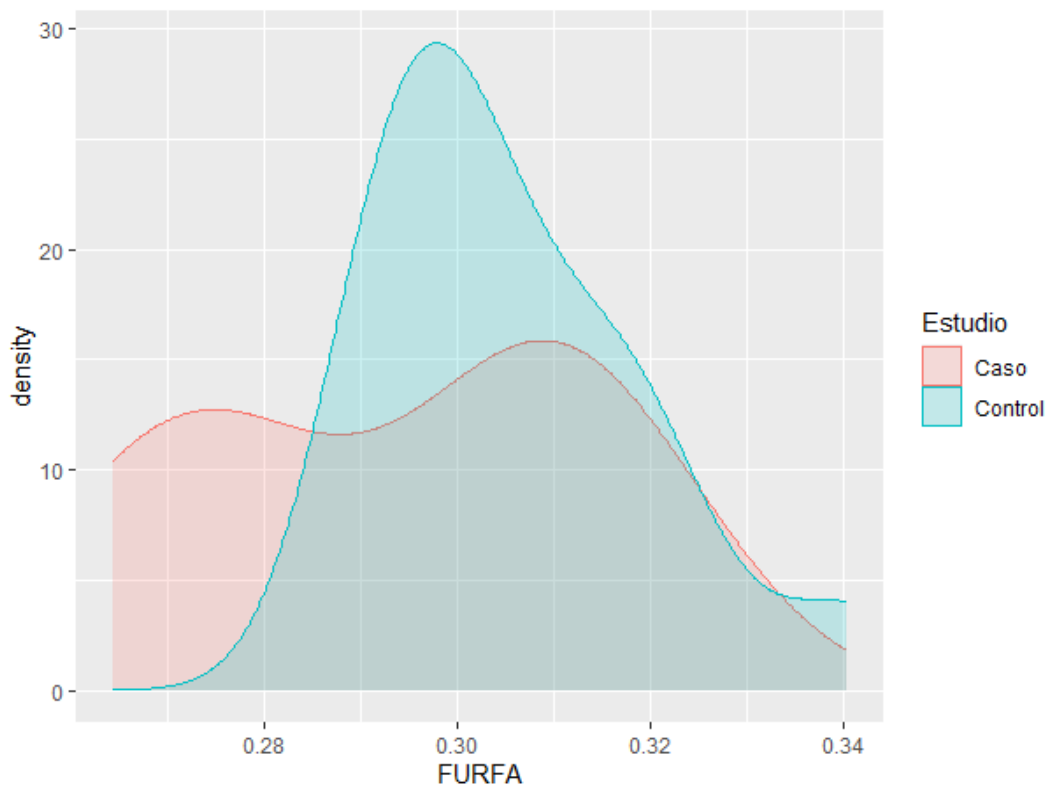


Ilustración 59.- Grafica de distribución de los valores de FA del fascículo uncinado derecho.

| Resultados de prueba estadística de AD del Fascículo uncinado izquierdo y derecho |                                                                        |                            |                            |          |                                                         |                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05 (valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |          | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05 (valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05 (Valor de p-valor) |
|                                                                                   |                                                                        |                            | Controles                  | Casos    |                                                         |                                                                         |
| Izquierdo                                                                         | 0.06744                                                                | T- de Student              | 1.12768                    | 1.07806  | 0.3961                                                  | 0.3511                                                                  |
| Derecho                                                                           | 0.02058                                                                | U Mann Whitney             | 1.095404                   | 1.056713 | N/P                                                     | 0.4902                                                                  |

Tabla 18.- Resultados estadísticos de AD del fascículo uncinado izquierdo y derecho

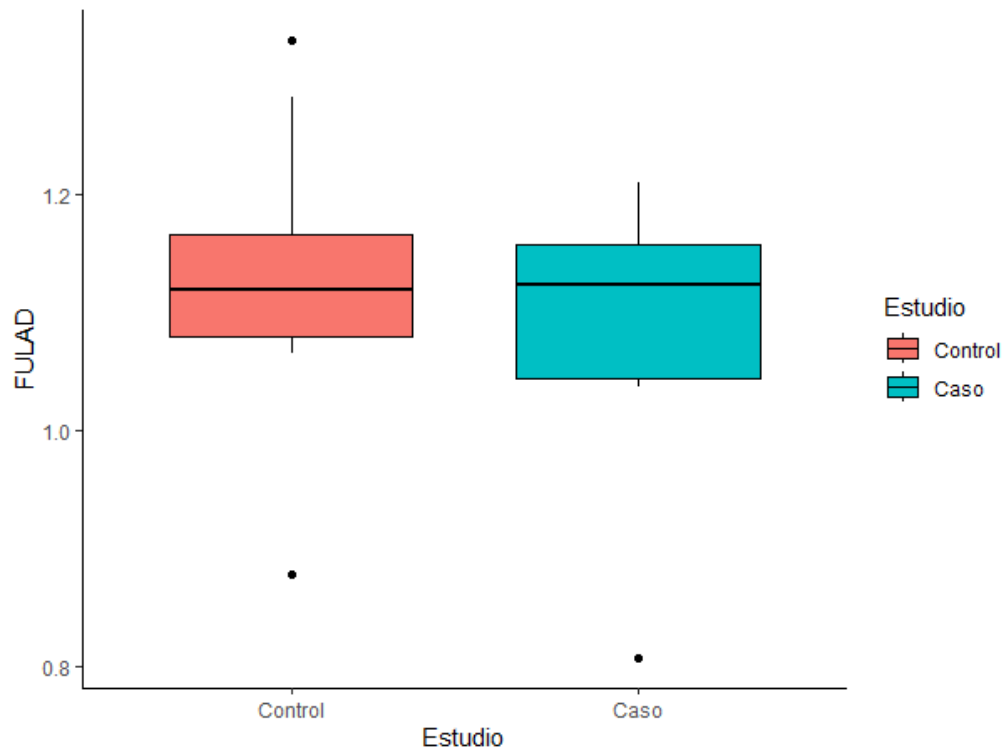


Ilustración 60.- Grafica de cajas y bigotes de AD del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

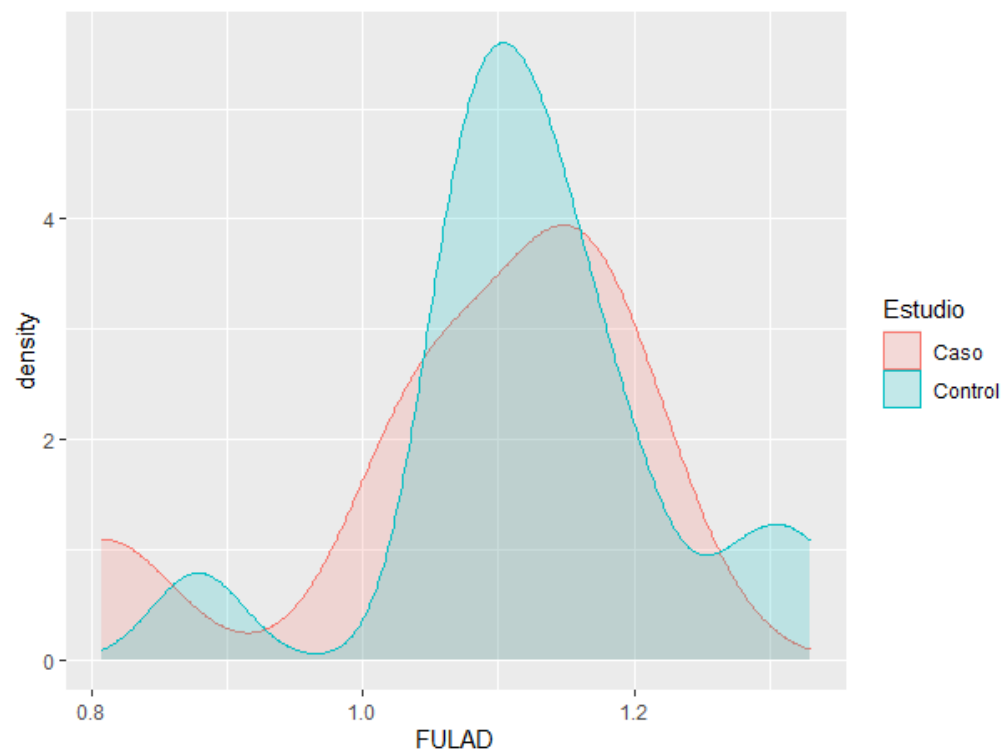
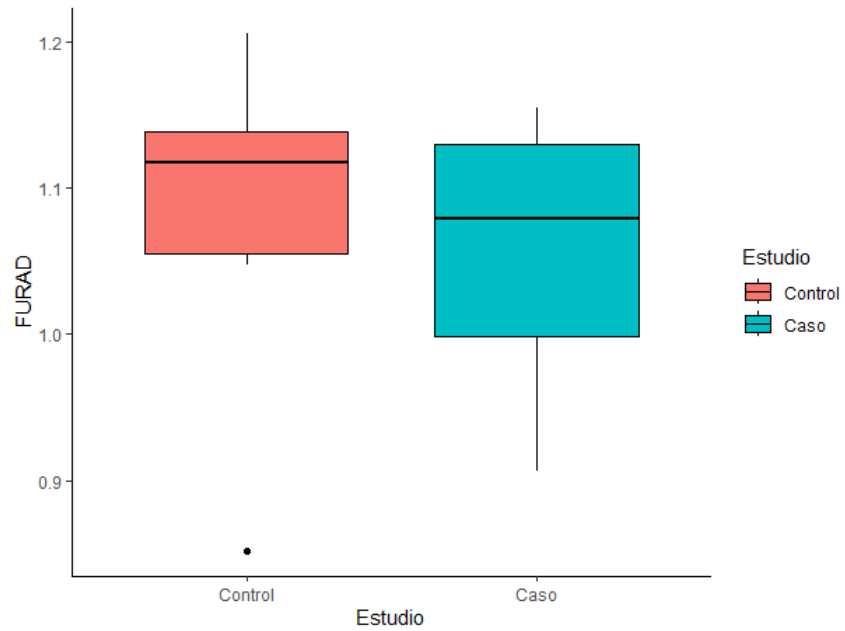
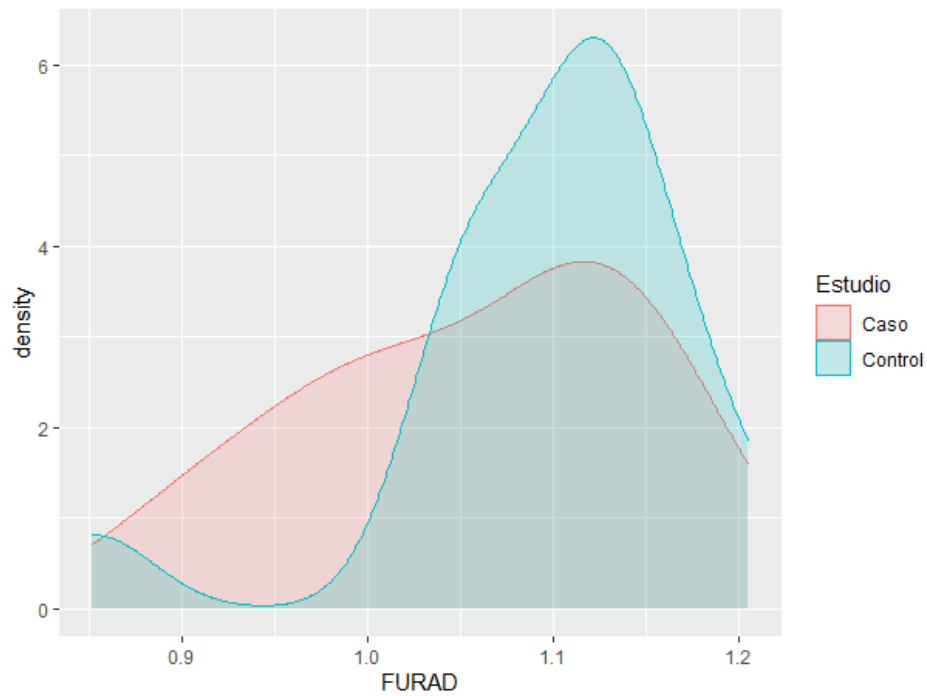


Ilustración 61.- Grafica de distribución de los valores de AD del fascículo uncinado izquierdo.



*Ilustración 62.- Grafica de cajas y bigotes de AD del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.*



*Ilustración 63.- Grafica de distribución de los valores de AD del fascículo uncinado derecho.*

| Resultados de prueba estadística de RD del Fascículo uncinado izquierdo y derecho |                                                                           |                            |                            |           |                                                            |                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | Prueba de normalidad (Papiro-Wilk)<br>p-Valor >0.05<br>(valor de P-Valor) | Tipo de Prueba estadística | Valores promedio o mediana |           | Prueba de Varianza<br>p-Valor > 0.05<br>(valor de p-valor) | Resultado de prueba estadística con un p-Valor >0.05<br>(Valor de p-valor) |
|                                                                                   |                                                                           |                            | Controles                  | Casos     |                                                            |                                                                            |
| Izquierdo                                                                         | 0.04425                                                                   | U Mann Whitney             | 0.747531                   | 0.747460  | N/P                                                        | 0.6796                                                                     |
| Derecho                                                                           | 0.2301                                                                    | T-de Student               | 0.7181899                  | 0.7161687 | 0.3577                                                     | 0.9333                                                                     |

Tabla 19.- Resultados estadísticos de RD del fascículo uncinado izquierdo y derecho

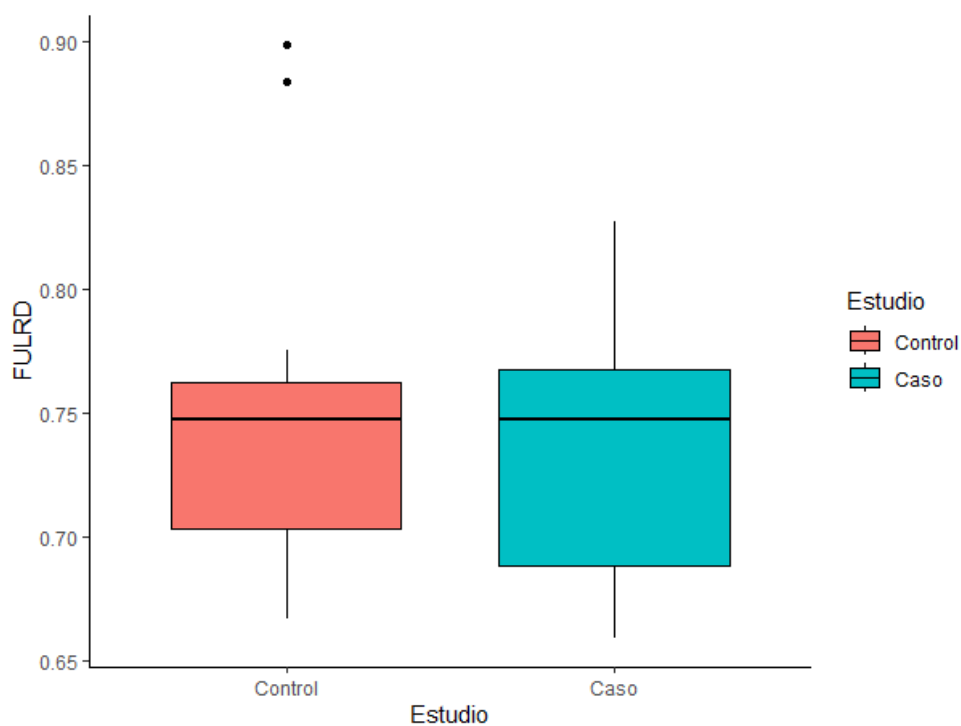


Ilustración 64.- Grafica de cajas y bigotes de RD del fascículo uncinado izquierdo, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.

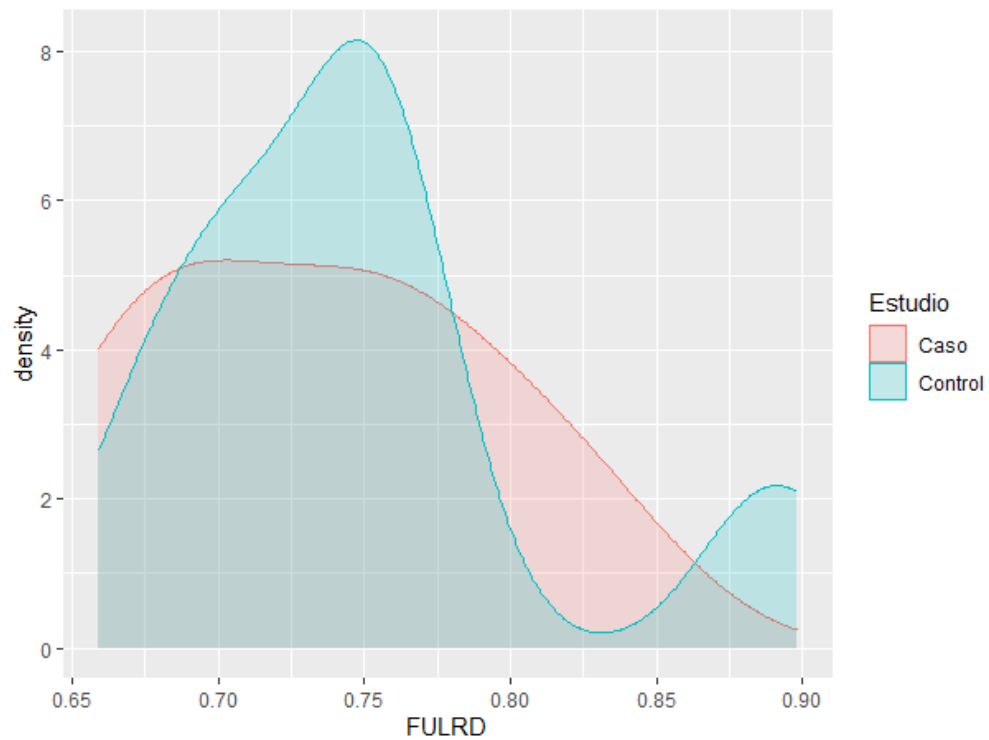


Ilustración 65.- Grafica de distribución de los valores de RD del fascículo uncinado izquierdo.

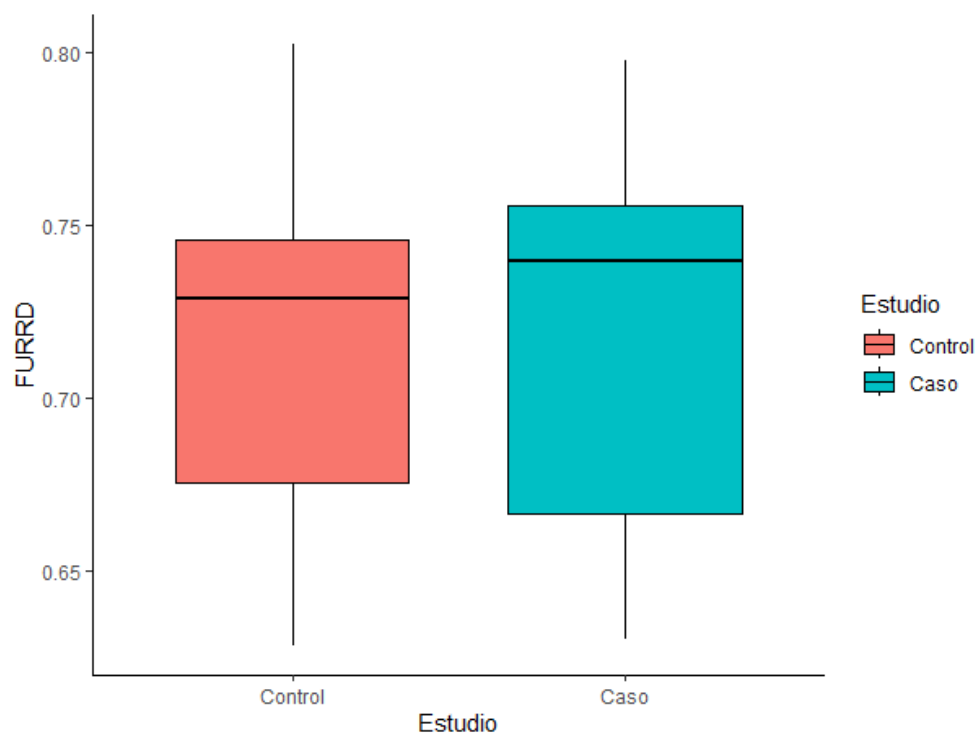
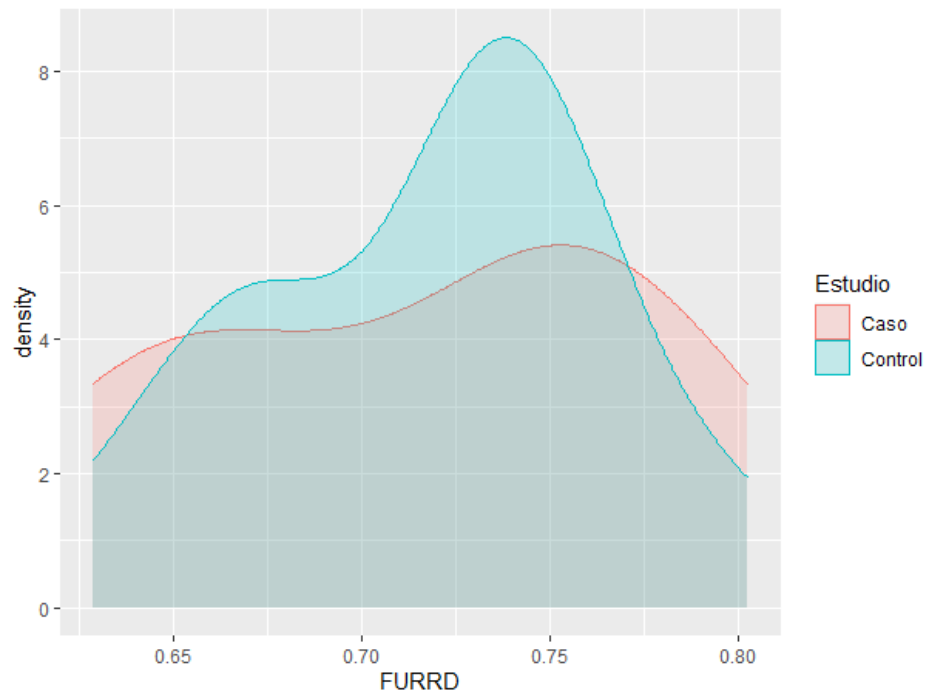


Ilustración 66.- Grafica de cajas y bigotes de RD del fascículo uncinado derecho, donde se observa la distribución de los datos y la mediana de estos.



*Ilustración 67.- Grafica de distribución de los valores de RD del fascículo uncinado derecho.*

## **IX. DISCUSIÓN**

Los resultados obtenidos en las cuatro zonas de interés (Fascículo Longitudinal Inferior, Fascículo Longitudinal Medio, Fascículo Longitudinal Superior y Fascículo Uncinado en sus dos partes cada uno de los fascículos, izquierdo y derecho), de las pruebas estadísticas no muestran diferencias significativas de la comparativa entre los dos grupos, “control” y “Casos”, es decir, las mediciones de FA, AD y RD se comportan u obtienen valores similares en los dos grupos, en algunas pruebas se podían observar casos muy puntuales pero que no eran significativos en comparación con toda la muestra.

El valor de FA es, en las cuatro zonas de interés, la que menos variación aparenta, ya que el comportamiento de los valores de ambos grupos era muy similar (los valores de los grupos eran similares), además que no se observó una tendencia hacia el valor 0 en el grupo de casos y una tendencia al valor 1 en el grupo de control, ya que una buena fibra mielinizada tiene un FA alto (Chang, 2017).

El valor AD, en las cuatro zonas de interés que si observamos el comportamiento de cada uno de los casos es en el cual podemos obtener que en algún caso se puede observar un comportamiento como el esperado, es decir en el grupo de “casos” se observó que alguno de los sujetos el valor de AD tiende a decaer y podemos llegar a concluir que existe una perdida axonal en esa zona (Son, 2003) en comparativa del grupo “control”. Pero los casos son muy aislados o pocos que en la prueba estadística no logran hacer una diferencia significativa para poder concluir que si existen diferencias en los datos de los dos grupos.

El valor RD, en las cuatro zonas de interés, en su prueba estadística no muestran una diferencia significativa en comparación de los datos de los dos grupos, al observar la comparativa de caso por caso observamos que tampoco podemos llegar a observar algún caso en específico que se comporte de la forma esperada, es decir, no se observa que en el grupo control el RD sea bajo debido a que debe existir una buena



mielinización (Chang, 2017) en comparativa con el grupo caso, tiene el mismo comportamiento y los valores entre ambos grupos son muy similares. De igual forma no se logra observar que algún caso en específico en el grupo “caso” la tendencia de los valores de RD sea muy distinta del valor del grupo control, esto se espera porque cuando existe una desmielinización el valor de RD tiene cambios drásticos en comparativa cuando existe una buena mielinización.

Como datos extras a lo que se buscaba se realizó de igual forma una prueba estadística en el tamaño (volumen  $\text{mm}^3$ ) de las zonas de interés, para observar si existían diferencias significativas en los dos grupos, además de buscar una relación, en el grupo “casos”, de afectación en la zona por el consumo de inhalantes. Realmente los datos de la prueba estadística no arrojaron diferencias significativas para poder hacer una relación sobre el volumen, donde el estar expuesto a inhalantes se afecte la zona que se está estudiando. Lo único que se observó es que en ambos grupos existen casos en particular que se salen fuera del comportamiento que tiene el grupo, es decir si existen casos atípicos, pero en ambos grupos. Cabe recalcar que durante el preprocesamiento se realiza una normalización para ajustar todos los cerebros a un espacio estándar, pero no son volúmenes normalizados, por lo que se ve afectados por la anatomía propia de cada sujeto.

## **X. CONCLUSIÓN**

Los datos que se obtuvieron no fueron los deseados para poder comprobar nuestra hipótesis pero se deben de tomar en cuenta las limitantes del trabajo, los problemas que se tuvieron y las mejoras que se pueden realizar para encontrar la relación deseada, ya que como observamos al hacer una comparativa en grupo no se logran observar los casos particulares que se convierten en datos atípicos pero que si mejoramos las limitantes del trabajo podríamos encontrar más datos atípicos en cada uno de los valores buscados (FA, RD, AD) que al realizar el estudio estadístico esos datos se vuelvan significativos y podamos comprobar nuestra hipótesis.

A pesar de que los resultados obtenidos no fueron los esperados, no se pueden observar bien en las tablas pero si en las gráficas de los parámetros de cada uno de los fascículos el comportamiento que van teniendo cada uno de los controles en comparación con los casos, podemos observar que con mayor cantidad de sujetos tanto controles como expuestos podemos llegar a obtener los resultados deseados ya que, los valores de FA no tienen un gran rango de valores en los cuales puedan oscilar los resultados, de 0 a 1, pero en el comportamiento de la gráfica observamos que la mayoría de los valores de los sujetos control esta por arriba de la grafica o de los valores del grupo casos.

En cada una de las gráficas tanto de FA y AD se puede observar que el comportamiento con más sujetos puede ser el esperado, en el parámetro AD de igual forma se observa el comportamiento de la gráfica como la mayoría de los datos de los controles tiende a estar por debajo de la grafica de los valores del grupo caso.

El parámetro RD es del que se puede obtener menos resultados ya que al esperar un comportamiento distinto entre los dos grupos, no podemos predecir con exactitud que comportamiento en las gráficas esperar, no sabemos si la diferencia seria muy amplia o como en los otros casos es mínima, pero de igual forma no sabemos si los controles

tienden a estar por encima del valor de los casos o de forma contraria por debajo de estos.

Podemos concluir que, por la limitante del proyecto y los resultados obtenidos, los valores de los cuales se pueden tener mejores resultados son de los parámetros de AD y FA ya que estos pueden llegar a tener el comportamiento adecuado con más datos para comprar, que la diferencia de valor entre casos y controles, como es mínima, si se vuelva significativa al momento de obtener nuestra prueba estadística. Por otro lado, el valor RD con tan pocos resultados no nos ayuda para tomarlo como parámetro para ver si existen afecciones en los tractos ya que no podemos predecir cuál será su comportamiento en los resultados ni en las gráficas.

Otro punto importante que puede ayudar a completar los resultados obtenidos, es acompañarlos de resultados de pruebas médicas y psicológicas para poder determinar si las afecciones tanto en conocimiento, sociales, emocionales, conducta, etc. Se pueden ligar a daños en los tractos donde ese sujeto tenga mayor afección y realmente sea por daños por exposición a solventes y no sea por otro tipo de problemas.

## **XI. LIMITACIONES DEL PROYECTO**

A lo largo del proyecto se tuvieron diferentes limitantes las cuales pudieron llegar a afectar el resultado este.

Una de las limitantes fue el tamaño de nuestra población, ya que era muy pequeña solo contamos con 15 sujetos control y 7 sujetos caso, lo cual es complicado poder obtener una buena confianza estadística basada en nuestro modelo experimental.

Una de las limitantes es que no tenemos las muestras de los grupos iguales lo cual hace aún más difícil la comparativa de los grupos, esto se ve reflejado en nuestras pruebas estadísticas ya que los casos atípicos de nuestro grupo “caso” no mostraban significancia en comparativa con el grupo “control” esto por el tamaño de muestra de cada uno de los grupos.

Estas dos limitantes son las principales que afectaron el resultado de esta investigación, de la misma forma es un área de mejora para el proyecto.

## **XII.                   REFERENCIAS**

- Atilano-Barbosa, D (2020). Estructura cerebral de personas expuestas ocupacionalmente a solventes volátiles evaluadas mediante resonancia magnética. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chang, E. F., Raygor, K. P., & Berger, M. S. (2015). Contemporary Model of Language Organization: An Overview for Neurosurgeons. *Journal of Neurosurgery*, 122(2), 250- 261.  
<https://doi.org/10.3171/2014.10.jns132647>
- Chang, E. H., et al. (2017). "El papel de la mielinización en las medidas de integridad de la materia blanca: combinación de imágenes de tensor de difusión y microscopía de dos fotones de cerebros intactos CLARITY". *Neuroimagen* 147: 253-261.
- Comes-Fayos J, Romero-Martinez A, Moya-Albiol L. Role of major long fiber tracts association in empathy. *Rev Neurol*. 2018 Oct 1;67(7):263-272. Spanish, English. PMID: 30232799.
- DSI-studio: A tractography software tool for diffusion MRI analysis. (2021). DSI Studio Documentation. Recuperado el 5 de febrero de 2024, de <https://dsi-studio.labsolver.org/>
- DSI Studio. (2020). <http://dsi-studio.labsolver.org/>
- Fascículo longitudinal medial \_ AcademiaLab. (s. f.). <https://academia-lab.com/enciclopedia/fasciculo-longitudinal-medial/>

- Faccio, E. J., Kriguer, N., & Herskovits, E.. (1981). Parálisis de la mirada conjugada lateral de origen pontino: discusión neuroanatómica del fascículo longitudinal medio. *Arquivos De Neuro-psiquiatria*, 39(1), 89–100. [https://doi.org/10.1590/S0004-282X1981000100010Fascículo longitudinal medial \\_ AcademiaLab. \(s. f.\). https://academia-lab.com/enciclopedia/fasciculo-longitudinal-medial/](https://doi.org/10.1590/S0004-282X1981000100010Fascículo longitudinal medial _ AcademiaLab. (s. f.). https://academia-lab.com/enciclopedia/fasciculo-longitudinal-medial/)
- Filley, C. M. (2015). Occupation and the risk of chronic toxic leukoencephalopathy. *Handbook Of Clinical Neurology*, 131, 73-91. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-62627-1.00006-8>
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G., & Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: Cómo elegir la prueba estadística adecuada. estadística inferencial. *Revista alergia México*, 64(3), 364-370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>
- González, R., & Hornauer-Hughes, A. (2014). Cerebro y lenguaje. Departamento de Neurología y Neurocirugía, HCUCH, abril 2014.
- Hernández, A.M. (2022). Caracterización de la estructura y función cerebrales mediante imagenología por resonancia magnética en personas expuestas ocupacionalmente a sustancias inhalables psicoactivas [Tesis de doctorado]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Hernández, C., Martínez, O. H. C., & Ramírez, C. A. A. (2009). Resonancia magnética funcional: evolución y avances en clínica. *Ternura*, 13(25), 88-103. <https://doi.org/10.14483/22487638.6672>
- Hong, S., Choi, E., Kim, H., Suh, J., Takagi, M. J., Lubman, D. I., Kim, J., Kim, C., Yi, S., & Yücel, M. (2014). Decreased thalamic volumes in adolescent inhalant users from Korea and Australia. *The World Journal Of Biological Psychiatry*, 15(8), 636-640. <https://doi.org/10.3109/15622975.2014.902540>

Latarjet, M., & Ruiz, A. (2004). Anatomía Humana (4.a ed., Vol. 1) [Libro]. Médica Panamericana.

Marlene, R., Guzmán, P., Morales, R. C. M., Díaz, C. E., & Dolores, F. G. (2020). Intoxicación y muerte por inhalación de tolueno. 5(1), 1–10

Meli, F., Romero, C., Carpintiero, S., & Salvático, R. (2005). IMÁGENES CON TENSOR DE DIFUSIÓN EN RESONANCIA MAGNÉTICA. APLICACIONES CLÍNICAS. Revista Argentina de Radiología, 69(2), 69-75.

NIDA. 2022, Septiembre 29. ¿Cómo producen sus efectos los inhalantes?. Retrieved from <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/serie-de-reportes/abuso-de-inhalantes/como-producen-sus-efectos-los-inhalantes> en 2023, August 24

National Institute on Drug Abuse. (2011, agosto 22). *Nota de la directora*. National Institute on Drug Abuse. <https://www.drugabuse.gov/es/publicaciones/drugfacts/inhalantes>

National Institute on Drug Abuse. (2011). ¿Qué son los inhalantes? National Institute on Drug Abuse. Recuperado el 27 de septiembre de 2023, de <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/serie-de-reportes/abuso-de-inhalantes/que-son-los-inhalantes>

Padilla, C. R. (Ed.). (2020). *Intoxicación por Tolueno* (Vol. 37, Número 2). Revista Medicina Legal de Costa Rica.

Palacios, E., y Clavijo-Pardo, C. (2016). Fascículo longitudinal inferior: una nueva mirada del lenguaje. Revista Repertorio de Medicina Y Cirugía, 25(4), 232–234. Recuperado a partir de <https://revistas.fucsalud.edu.co/index.php/repertorio/article/view/111>

- Ponce Martínez, A. F. (2021). Evaluación de la conectividad funcional relacionada a procesos cognitivos en trabajadores expuestos a vapores de tolueno y derivados [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Querétaro.
- OEA. (2019). OEA - Organización de los Estados Americanos: Democracia para la paz, la seguridad y el desarrollo.  
[https://www.oas.org/es/centro\\_noticias/comunicado\\_prensa.asp?sCodigo=C-014/19](https://www.oas.org/es/centro_noticias/comunicado_prensa.asp?sCodigo=C-014/19)
- Keski-Säntti, P., Mäntylä, R., Lamminen, A., Hyvärinen, H.-K., & Sainio, M. (2009). Magnetic resonance imaging in occupational chronic solvent encephalopathy. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(5), 595–602. <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0368-3>
- Romero, Carlos, Ghisi, Juan Pablo, Mazzucco, Juan, & Ternak, Alejandro. (2007). Imágenes con tensor de difusión en resonancia magnética. *Revista argentina de neurocirugía*.
- Cordova, D. G., Flores, E. N., García, R. R., & Salvador, J. C. R. (2014). ¿Qué sucede cuando un trabajador está expuesto a sustancias peligrosas? *Ciencia UNAM*. Recuperado el 10 de Agosto de 2023, de [https://ciencia.unam.mx/leer/400/Que\\_sucede\\_cuando\\_un\\_trabajador\\_esta\\_expuesto\\_a\\_sustancias\\_peligrosas](https://ciencia.unam.mx/leer/400/Que_sucede_cuando_un_trabajador_esta_expuesto_a_sustancias_peligrosas)
- Song, S.K., Sun, S.W., Ju, W.K., Lin, S.J., Cross, A.H., Neufeld, A.H., 2003. La imagen con tensor de difusión detecta y diferencia la degeneración de axones y mielina en el nervio óptico del ratón después de la isquemia retiniana. *Neuroimagen* 20, 1714- 1722.
- Song, S.K., Sun, S.W., Ramsbottom, M.J., Chang, C., Russell, J., Cross, A.H., 2002. La desmielinización se reveló a través de la resonancia magnética como un aumento de la difusión radial (pero axial inalterada) del agua. *Neuroimagen* 17, 1429-1436.



- Tresguerres, J., & Lopez, A. (2009). Sistema Nervioso. Anatomía y fisiología del cuerpo humano, 32-37.
- Van Geuns, R. M., Wielopolski, P. A., De Bruin, H. G., Rensing, B. J., Van Ooijen, P. M. A., Hulshoff, M., Oudkerk, M., & De Feyter, P. J. (1999). Basic Principles of Magnetic Resonance Imaging. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 42(2), 149-156. [https://doi.org/10.1016/s0033-0620\(99\)70014-9](https://doi.org/10.1016/s0033-0620(99)70014-9)
- Velázquez, J. A., Dirección de investigaciones Epidemiológicas y Psicosociales, Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz., Icaza, M. E., Sánchez, R., Ito, D. A., Gamiño, M. N., Escobar, E., Salazar, R., Cirett, M., Hernández, I. S., Martínez, V., Dirección General del Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz., & Comisión Nacional contra las Adicciones. (2016). El consumo de drogas en estudiantes de México: tendencias y magnitud del problema. *Salud mental (Mexico City, Mexico)*, 39(4), 193–203. <https://doi.org/10.17711/sm.0185-3325.2016.023>
- Villatoro J, Oliva N, Mujica R, Fregoso D (2015). Panorama Actual del consumo de sustancias en estudiantes de la Ciudad de México. Ciudad de México: Instituto Nacional de Psiquiatría Ramón de la Fuente Muñiz, Administración Federal de Servicios Educativos en el Distrito Federal, Instituto para la Atención y Prevención de las Adicciones.
- Volkow, N. D. (2011). Abuso de inhalantes. NIDA (National Institute On Drug Abuse).