

Monografía de Física:
Estudio de la forma de salpicaduras formadas por gotas de agua
en función de la altitud y el ángulo de impacto en una superficie

Aleix Boné

Tutor: Jordi Mazón

29 de septiembre de 2016

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción teórica	1
3. Diseño experimental 1	1
3.1. Objetivo	1
3.2. Montaje	1
3.3. Control de variables	1
4. Diseño experimental 2	3
4.1. Objetivo	3
4.2. Montaje	3
4.3. Control de variables	3
5. Datos brutos	5
5.1. Experimento 1	7
5.2. Experimento 2	17
6. Análisis de datos	23
6.1. Observaciones	24
7. Evaluación de los resultados	24
8. Conclusión	24
Bibliografía	25

1. Resumen

2. Introducción teórica

3. Diseño experimental 1

3.1. Objetivo

El objetivo de este experimento es determinar la relación entre la altura de caída de una gota de agua y la mancha que esta genera después de impactar contra una superficie plana.

3.2. Montaje

El montaje del experimento consistía en una lámina de papel de formato DinA4, de densidad $100\text{g}/\text{cm}^2$ y grosor de $0,010\text{ mm}$ usada como superficie de impacto y un nivel al que se le añadió una cinta con medidas así como un soporte que sujetaba una pipeta Pasteur y que permitía soltar las gotas con la pipeta Pasteur desde diferentes alturas sobre la lámina de papel. Se uso una lámina de papel para cada una de las diferentes alturas que iban de 10 cm a 100 cm en un incremento de 10 cm . Para recolectar los datos se usó una cámara con la que se fotografiaron las distintas láminas de papel, las imágenes se tomaron con los mismos valores de zoom, apertura, velocidad, enfoque e ISO para facilitar el posterior procesamiento de las imágenes. La cámara se colocó con un trípode apuntando perpendicularmente a las láminas para eliminar la perspectiva. Cada foto realizada tenía como referencia una regla al lado de la lámina para determinar las dimensiones de las manchas en el momento de procesarlas. La figura 1 muestra el montaje experimental. Se uso agua destilada mezclada con colorante amarillo para poder procesar las imágenes obtenidas.

3.3. Control de variables

En este experimento, la variable independiente es la altura de la que cae la gota de agua y las variables dependientes son el área de la mancha formada, el perímetro y el radio que se medirán con un programa informático a partir de las imágenes capturadas. Para garantizar el mínimo error, se deben controlar las variables que pueden afectar a las anteriores. Uno de los puntos más importantes es las propiedades del líquido en cuestión, puesto que al ser lanzado con una pipeta Pasteur, el volumen de líquido depende de la tensión superficial del líquido como muestra la ecuación 1 que se obtiene igualando la fuerza de la gravedad con la fuerza debido a la tensión superficial de una gota de masa m y tensión superficial γ en un tubo de diámetro d [2].

$$\begin{aligned} F_\gamma &= \pi d \gamma & F_\gamma &= F_g = mg \\ mg &= \pi d \gamma \\ m &= \frac{\pi d \gamma}{g} \end{aligned} \tag{1}$$

La tensión superficial de una gota de agua en contacto con vapor de agua puro [1] se determina a partir de la ecuación 2 donde T es la temperatura en grados kelvin.

$$\gamma_w = 235,8 \left(1 - \frac{T}{697,098}\right)^{1,256} \left[1 - 0,625 \left(1 - \frac{T}{697,098}\right)\right] \frac{\text{mN}}{\text{m}} \tag{2}$$

Aunque la ecuación 2 no sea aplicable a nuestro experimento puesto que solo es válida para agua pura en contacto con vapor de agua pura, ilustra como la tensión superficial depende de la

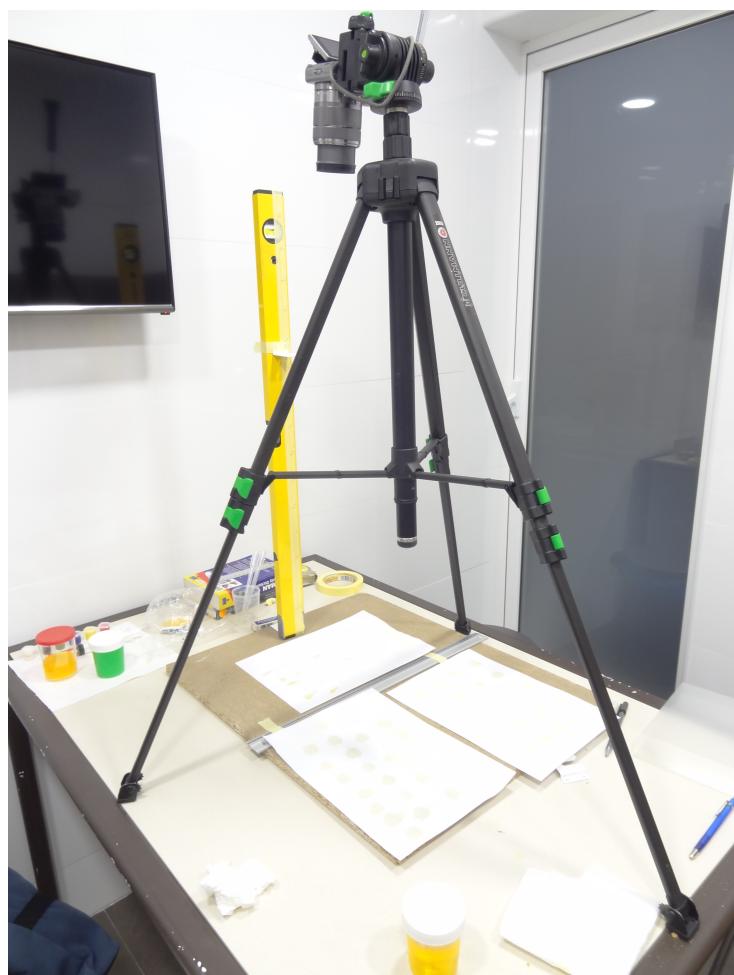


Figura 1: Montaje experimental

temperatura. Para controlar la temperatura e intentar garantizar que la tensión superficial y por consiguiente el volumen de cada gota lanzada sea constante, los experimentos se realizaron en un entorno cerrado y se controlaron los cambios de temperatura con un termómetro (La temperatura se mantuvo oscilando entre los 26,7 y 26,8 grados centígrados durante los experimentos). Se usó siempre la misma solución de agua destilada con colorante para no alterar las propiedades del líquido así como el mismo tipo de papel.

4. Diseño experimental 2

4.1. Objetivo

El objetivo del segundo experimento es determinar la relación entre el angulo de inclinación de una superficie y la forma de la mancha generada por una gota que cae sobre esta.

4.2. Montaje

El montaje del segundo experimento es idéntico al del primer experimento (sección 3.2) con la diferencia de que se usó un soporte vertical para inclinar las láminas de papel diferentes grados. Para determinar la inclinación se usaron cálculos matemáticos para determinar a qué altura se debía fijar el papel en el soporte vertical para que este tuviera la inclinación deseada, adicionalmente, se comprobaron los cálculos con un porta ángulos para verificar que la inclinación era la correcta. La figura 2 Otra de las diferencias es que se usó un segundo soporte a parte del nivel usado en el experimento 1 que fue usado en conjunto con el nivel poniendo uno a cada lado de la lámina de papel y con una regla de 40 cm se unieron para poder poner la pipeta Pasteur con su soporte en la regla justo encima de la hoja y moverla a la misma altura. Debido a la inclinación de la lámina se tuvo que calcular para cada hilera de gotas en la hoja a qué altura se debía poner dicha regla para que la gota estuviera justo a 50 cm de la lámina, que fue la altura usada para todas las medidas de este experimento.

4.3. Control de variables

La variable independiente en este caso es la inclinación del plano y la dependiente la forma de la mancha formada por la gota, que en este caso esta determinada por el área, el perímetro, el eje mayor y el eje menor. Al igual que el experimento anterior, la temperatura es una de las variables que se deben controlar ya que esta afecta al volumen de agua que habrá en cada gota que caiga de la pipeta de Pasteur. El experimento se realizó en las mismas condiciones que el anterior, y la temperatura en este caso varió entre los 25,3° y los 25,6° grados Celsius (El experimento se realizó unas horas después que el primero). La altura de la caída se mantuvo constante calculando trigonométricamente la altura desde la superficie donde se apoyaban los soportes para que la gota cayera siempre desde 50 cm tal y como se ha mencionado en la sección 4.2.

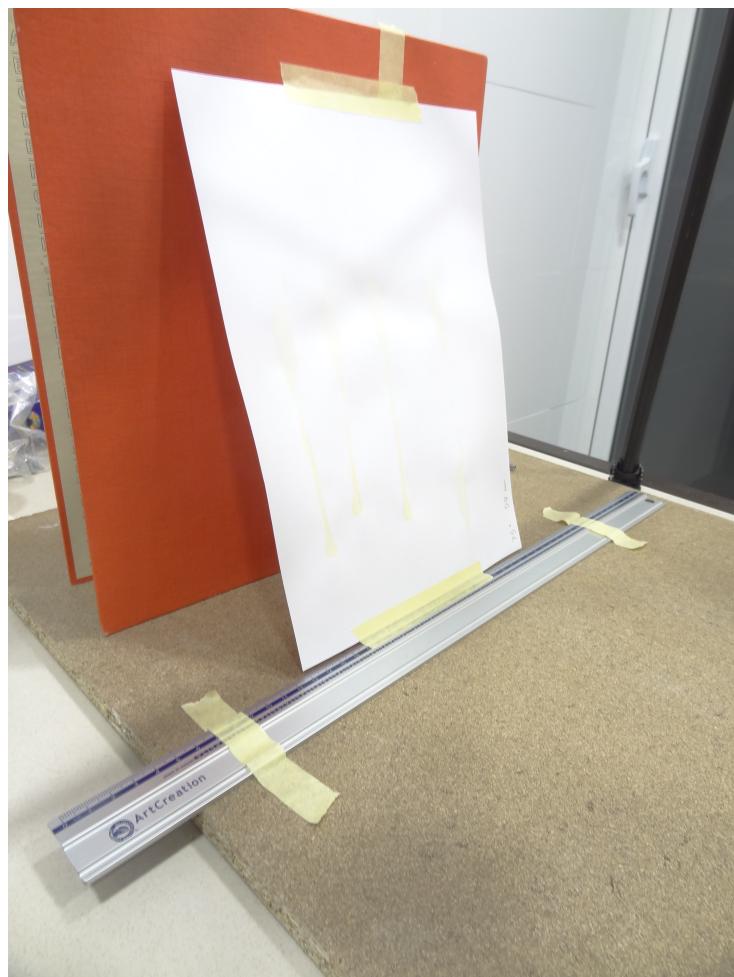


Figura 2: Montaje experimental con lámina inclinada 75° respecto la horizontal

5. Datos brutos

Las imágenes obtenidas a partir de los experimentos fueron procesadas usando un programa especializado llamado ImageJ [3]. Este programa permite importar imágenes como la que se muestra en la figura 3 y definir la proporción entre pixels y centímetros de la imagen a partir de la regla que aparece en esta y aislar la forma de las gotas a partir de los diferentes canales¹. Obteniendo la imagen que se muestra en la figura 4. Una vez procesada la imagen tal como se muestra en la figura 4, el programa permite ejecutar un algoritmo de cálculo que aísla las regiones contiguas de color negro, que en nuestra muestra corresponden a la forma de las gotas y calcular el área negra de cada región así como el perímetro (sin considerar los agujeros que pueden haber en el interior de la región) y calcular el eje mayor y menor de la elipse que mejor se adapte a la figura así como la inclinación de los ejes respecto a la horizontal de la imagen.

Siguen los datos obtenidos por el programa así como las imágenes procesadas con la escala en la esquina inferior derecha.

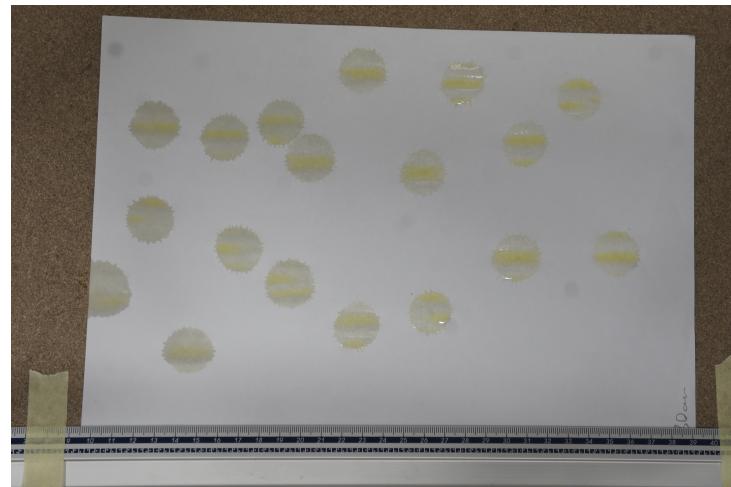


Figura 3: Imagen original de manchas lanzadas desde 80 cm

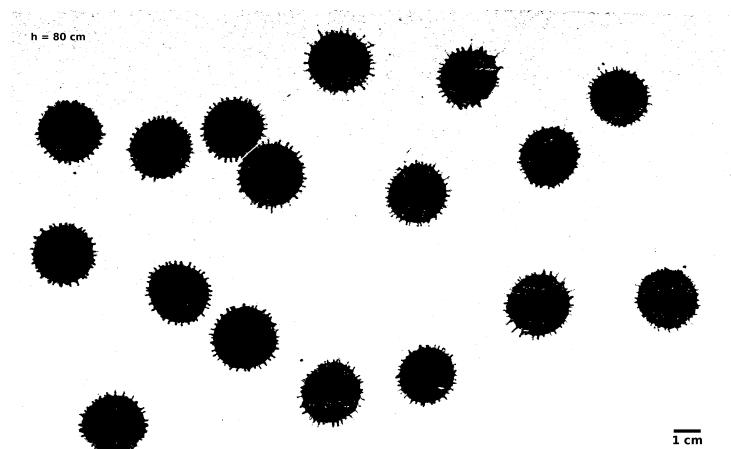


Figura 4: Imagen de la figura 3 procesada

¹Se filtraron las formas usando los siguientes parámetros en el espacio de color HSL: Matiz[26-54], Saturación[6-255] y Luz[50-255]

5.1. Experimento 1

Cuadro 1: Datos obtenidos a partir de la figura 5 ($h = 10 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	2.35	10.79	1.76	1.70	146.39
2	1.73	7.66	1.51	1.45	7.69
3	1.82	7.93	1.56	1.49	169.17
4	1.19	6.22	1.26	1.20	177.35
5	2.16	8.30	1.69	1.63	165.92
6	1.28	6.61	1.32	1.24	179.71
7	1.82	7.71	1.55	1.49	161.79
8	1.85	8.35	1.58	1.48	176.50
9	1.25	6.59	1.29	1.23	172.78
10	1.10	5.90	1.22	1.15	4.08
11	1.56	6.58	1.44	1.38	172.67
12	1.68	7.96	1.50	1.42	167.94
13	1.69	7.26	1.50	1.44	162.53
14	1.86	8.07	1.62	1.46	5.33
15	1.43	6.24	1.37	1.33	156.64
16	1.29	5.58	1.36	1.20	1.79
17	1.39	6.63	1.43	1.24	173.26
18	1.01	4.92	1.14	1.13	38.90
19	1.63	7.27	1.48	1.41	55.99
20	1.38	5.98	1.37	1.28	169.43
21	1.65	6.59	1.49	1.41	171.47
22	1.69	7.00	1.53	1.40	116.89
23	1.65	8.01	1.55	1.36	86.05
Media	1.59	7.14	1.46	1.37	123.49

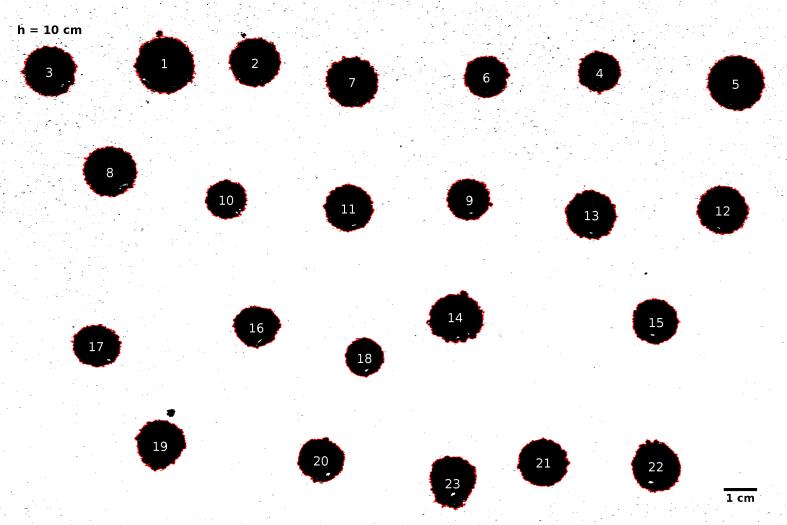


Figura 5: Mancha de gotas desde 10 cm

Cuadro 2: Datos obtenidos a partir de la figura 6 ($h = 20 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	1.98	6.75	1.64	1.54	144.94
2	2.08	7.27	1.66	1.59	166.41
3	2.36	7.38	1.76	1.71	163.07
4	1.79	6.33	1.54	1.48	167.03
5	2.53	7.39	1.90	1.70	153.35
6	2.11	7.68	1.67	1.61	8.22
7	2.34	7.35	1.76	1.69	161.77
8	2.03	6.89	1.63	1.59	12.75
9	2.62	8.22	1.87	1.78	4.18
10	2.47	7.83	1.81	1.73	167.47
11	2.80	8.95	1.92	1.86	8.13
12	2.30	7.43	1.75	1.67	64.28
13	2.18	6.96	1.70	1.63	163.64
14	1.76	6.57	1.53	1.47	14.81
15	2.23	7.49	1.71	1.66	26.08
16	2.38	6.90	1.77	1.71	10.46
17	2.70	8.61	1.89	1.82	141.29
18	3.41	10.30	2.15	2.02	159.40
19	2.26	7.47	1.71	1.69	37.76
20	2.52	7.82	1.83	1.75	101.89
21	1.81	6.66	1.54	1.50	32.24
Media	2.32	7.54	1.75	1.68	90.91

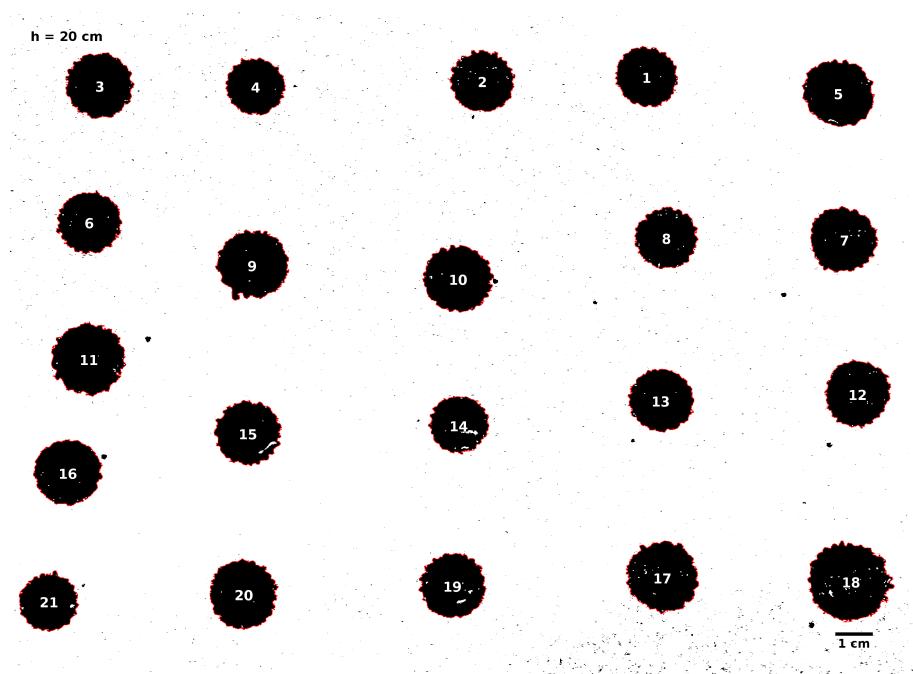


Figura 6: Mancha de gotas desde 20 cm

Cuadro 3: Datos obtenidos a partir de la figura 7 ($h = 30 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	3.27	10.05	2.11	1.97	175.54
2	2.58	7.93	1.86	1.77	166.21
3	2.99	8.31	2.01	1.90	172.92
4	3.26	9.37	2.06	2.02	27.07
5	3.33	10.52	2.08	2.03	11.79
6	2.98	8.75	2.00	1.89	5.73
7	3.20	9.41	2.09	1.95	174.57
8	2.54	8.41	1.87	1.73	170.57
9	2.74	8.75	1.91	1.83	98.60
10	3.86	9.81	2.25	2.18	169.21
11	2.82	9.03	1.94	1.85	162.24
12	3.27	9.28	2.09	2.00	171.87
13	3.40	9.78	2.11	2.05	179.65
14	3.05	8.96	2.00	1.94	13.51
15	2.72	8.72	2.02	1.71	9.71
16	2.08	6.71	1.78	1.49	89.49
17	3.35	9.27	2.13	2.00	164.78
18	2.93	8.90	1.98	1.88	175.60
19	4.23	11.69	2.38	2.26	58.01
20	3.72	9.34	2.21	2.14	24.44
21	2.96	10.02	2.00	1.88	151.15
22	3.27	9.12	2.08	2.00	19.53
23	3.31	9.68	2.08	2.02	76.35
24	2.74	8.32	1.92	1.81	11.35
Media	3.11	9.17	2.04	1.93	103.33

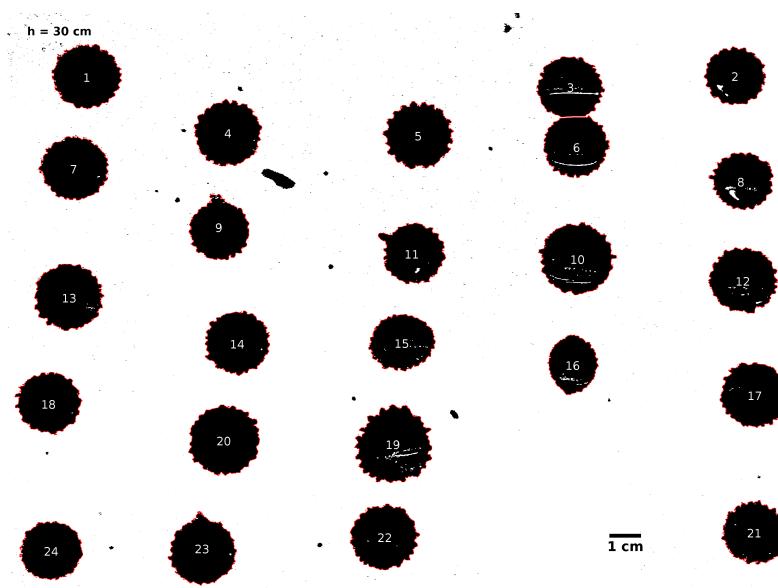


Figura 7: Mancha de gotas desde 30 cm

Cuadro 4: Datos obtenidos a partir de la figura 8 ($h = 40 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	3.16	12.29	2.06	1.95	167.56
2	2.96	10.97	1.98	1.90	173.57
3	3.36	10.36	2.13	2.01	167.17
4	3.44	12.16	2.12	2.07	161.16
5	3.59	12.39	2.18	2.09	163.28
6	3.46	11.21	2.12	2.07	159.61
7	3.35	12.09	2.12	2.02	2.75
8	2.96	9.83	1.99	1.89	178.98
9	3.07	12.17	2.03	1.92	177.01
10	3.59	14.33	2.18	2.10	150.30
11	3.04	11.05	2.01	1.93	168.92
12	4.02	14.03	2.33	2.19	0.66
13	3.33	13.15	2.07	2.05	164.48
14	3.37	13.73	2.09	2.06	153.97
15	3.79	12.61	2.24	2.15	149.19
16	2.87	9.38	1.95	1.87	18.31
17	2.96	10.08	1.98	1.90	159.61
18	3.98	11.89	2.30	2.20	1.50
19	3.49	13.40	2.13	2.08	164.65
20	4.64	16.91	2.47	2.40	150.18
21	2.97	9.99	1.99	1.90	24.94
22	3.68	13.25	2.20	2.13	143.60
23	3.51	13.04	2.14	2.09	9.73
24	3.05	11.47	2.02	1.92	17.54
25	3.06	11.93	1.99	1.95	171.50
26	2.93	11.05	1.95	1.91	142.70
Media	3.37	12.11	2.11	2.03	120.88

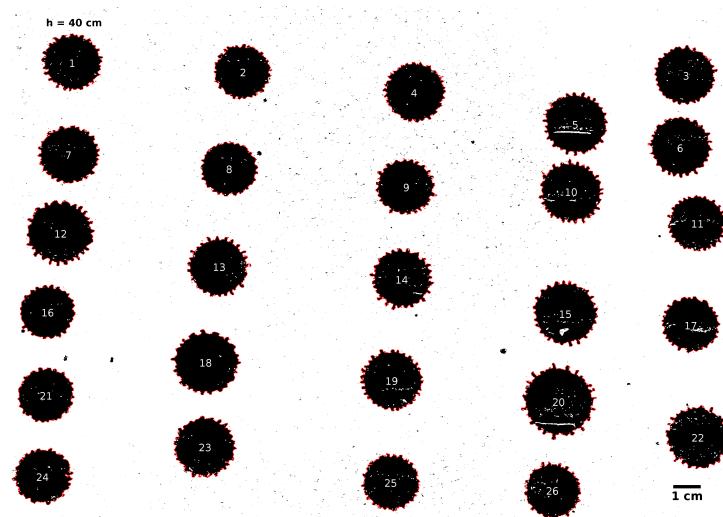


Figura 8: Mancha de gotas desde 40 cm

Cuadro 5: Datos obtenidos a partir de la figura 9 ($h = 50 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	3.34	11.57	2.12	2.01	170.41
2	3.32	11.98	2.12	2.00	171.67
3	3.79	11.97	2.25	2.14	143.64
4	3.77	13.31	2.37	2.03	102.56
5	2.90	9.64	1.97	1.87	178.39
6	3.29	11.47	2.07	2.02	147.46
7	3.48	11.31	2.25	1.97	13.11
8	3.59	11.14	2.21	2.07	175.96
9	2.79	9.74	1.91	1.85	177.78
10	3.00	9.64	2.04	1.87	119.35
11	3.46	10.89	2.17	2.03	170.56
12	3.83	12.90	2.27	2.14	144.28
13	3.60	11.69	2.23	2.05	10.36
14	3.58	10.68	2.18	2.10	170.99
15	3.71	11.79	2.26	2.08	20.50
16	4.30	13.60	2.48	2.21	174.36
17	3.08	10.45	2.04	1.93	164.98
18	3.85	12.53	2.36	2.08	131.89
19	3.27	10.97	2.05	2.03	71.67
20	3.76	13.54	2.20	2.18	152.77
21	3.73	14.05	2.21	2.15	106.25
22	2.88	9.60	1.94	1.89	28.77
23	3.12	11.12	2.07	1.92	127.66
Media	3.45	11.55	2.16	2.03	125.02

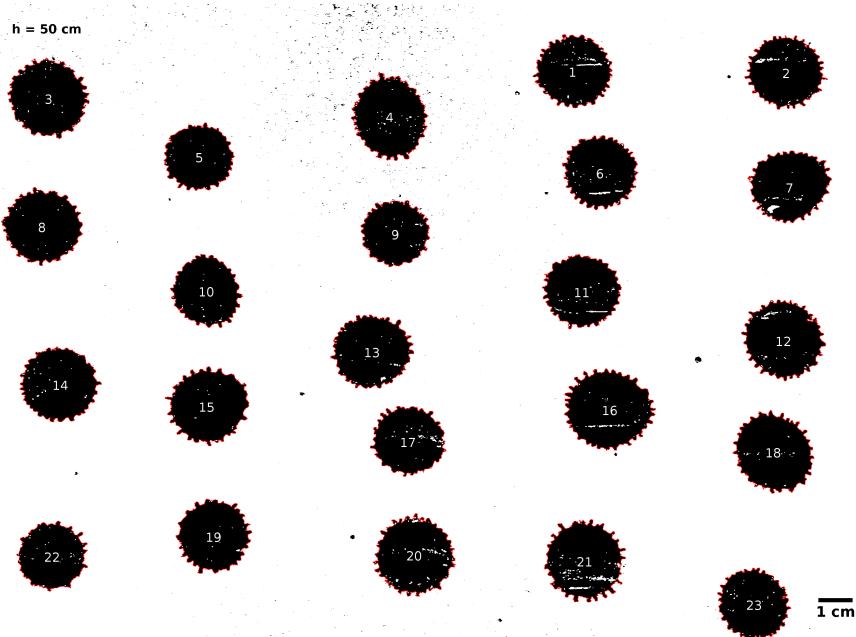


Figura 9: Mancha de gotas desde 50 cm

Cuadro 6: Datos obtenidos a partir de la figura 10 ($h = 60 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	3.37	11.37	2.16	1.99	2.68
2	3.89	12.97	2.27	2.18	21.26
3	4.23	13.13	2.40	2.25	56.06
4	3.54	13.41	2.16	2.09	156.31
5	3.86	12.72	2.26	2.17	165.98
6	3.80	11.05	2.23	2.17	164.23
7	3.69	12.28	2.26	2.08	2.06
8	3.68	13.78	2.19	2.14	163.63
9	3.61	12.53	2.21	2.08	164.50
10	4.01	12.27	2.41	2.12	161.83
11	3.47	12.28	2.14	2.07	169.32
12	3.50	10.62	2.21	2.02	179.48
13	2.50	11.44	1.80	1.77	44.35
14	4.04	13.55	2.32	2.22	10.63
15	3.44	10.83	2.15	2.04	177.14
16	3.36	9.98	2.12	2.02	178.34
17	3.96	12.07	2.26	2.23	122.76
18	3.53	11.79	2.12	2.12	90.69
19	4.46	14.42	2.44	2.33	161.77
20	3.81	12.46	2.26	2.15	143.93
21	3.60	10.06	2.17	2.12	6.98
22	3.51	12.12	2.14	2.09	2.24
23	4.39	13.95	2.46	2.27	164.27
24	3.80	11.90	2.21	2.19	82.64
25	4.33	13.76	2.42	2.28	11.67
26	3.36	11.18	2.19	1.96	2.88
27	3.63	11.87	2.17	2.13	127.16
Media	3.72	12.21	2.23	2.12	101.29

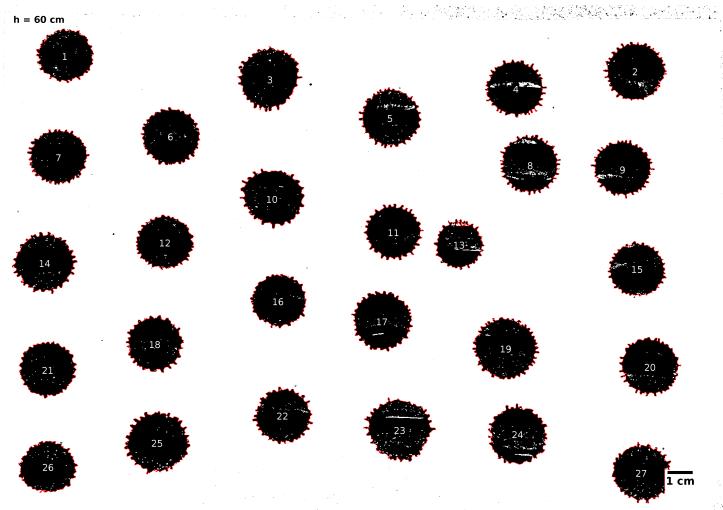


Figura 10: Mancha de gotas desde 60 cm

Cuadro 7: Datos obtenidos a partir de la figura 11 ($h = 70 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	3.22	14.25	2.11	1.94	133.96
2	3.71	12.40	2.26	2.09	159.53
3	3.57	12.94	2.15	2.11	161.77
4	2.60	11.38	1.87	1.77	171.31
5	3.80	14.06	2.22	2.18	9.24
6	3.95	13.24	2.36	2.14	38.76
7	2.73	10.83	1.99	1.75	24.44
8	4.09	14.05	2.30	2.26	159.86
9	4.37	14.87	2.40	2.32	117.81
10	3.89	14.02	2.26	2.19	173.29
11	3.66	13.31	2.28	2.05	16.19
12	3.89	14.33	2.25	2.20	171.22
13	3.02	11.07	2.04	1.89	162.40
14	3.30	11.70	2.12	1.98	2.58
15	4.10	16.04	2.33	2.24	155.05
16	3.30	12.65	2.11	1.99	39.72
17	3.81	13.95	2.24	2.16	143.01
18	4.60	15.47	2.47	2.37	156.60
19	4.80	18.29	2.62	2.33	160.59
20	3.93	11.14	2.31	2.16	13.97
21	4.51	15.04	2.46	2.34	169.10
22	4.40	14.45	2.46	2.28	131.09
23	3.05	13.08	2.19	1.77	126.06
Media	3.75	13.59	2.25	2.11	112.94

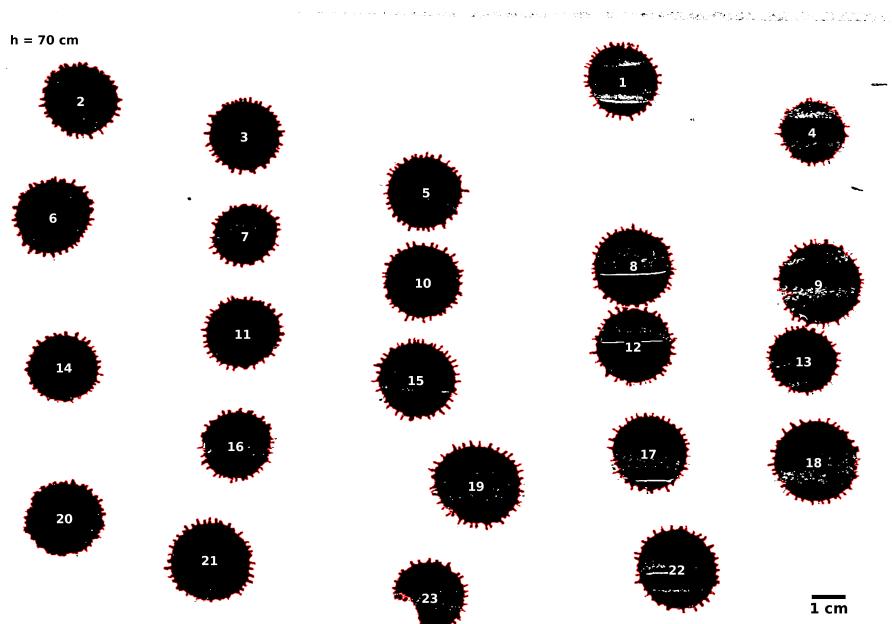


Figura 11: Mancha de gotas desde 70 cm

Cuadro 8: Datos obtenidos a partir de la figura 12 ($h = 80 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	4.34	18.81	2.42	2.28	177.44
2	3.82	14.46	2.32	2.09	42.73
3	3.63	13.57	2.24	2.07	157.73
4	4.05	15.45	2.39	2.16	44.30
5	4.29	13.64	2.40	2.28	167.56
6	4.15	14.05	2.36	2.24	39.91
7	3.85	12.35	2.31	2.12	48.42
8	4.61	15.77	2.48	2.37	38.43
9	3.92	16.11	2.30	2.17	53.45
10	4.15	14.39	2.33	2.27	171.79
11	4.13	15.05	2.40	2.20	143.39
12	3.95	12.51	2.29	2.20	151.58
13	4.34	15.86	2.43	2.28	36.40
14	4.55	15.30	2.44	2.37	14.26
15	3.54	13.58	2.20	2.05	50.57
16	4.06	15.91	2.38	2.17	56.51
17	4.21	13.77	2.42	2.22	4.25
Media	4.09	14.74	2.36	2.21	82.28

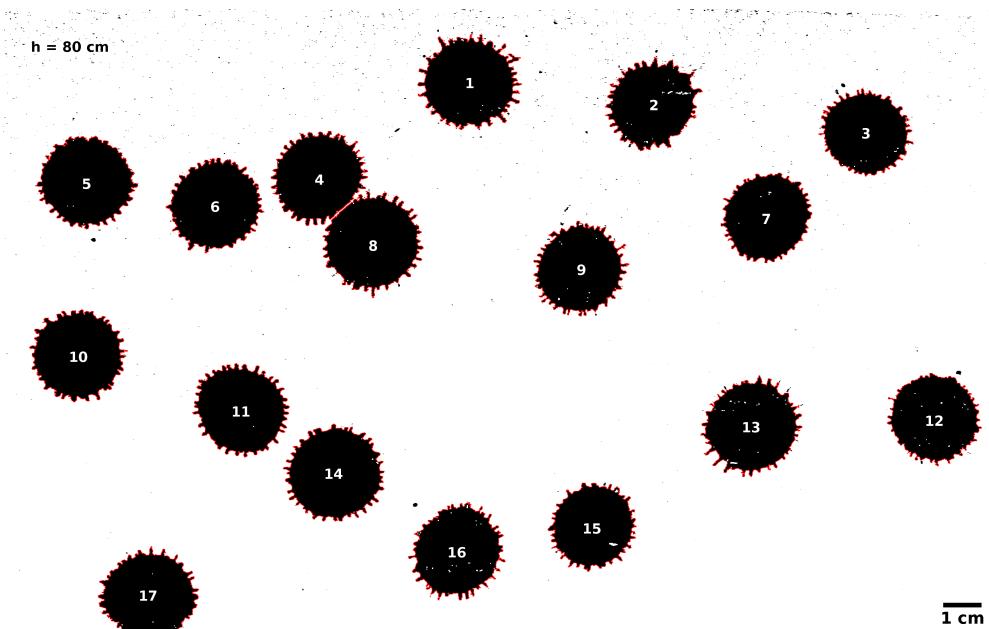


Figura 12: Mancha de gotas desde 80 cm

Cuadro 9: Datos obtenidos a partir de la figura 13 ($h = 90 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	4.57	18.80	2.46	2.37	116.67
2	3.80	14.87	2.28	2.13	41.77
3	3.92	13.70	2.29	2.18	14.94
4	4.47	17.47	2.46	2.31	157.72
5	3.81	12.18	2.27	2.14	43.38
6	4.22	15.60	2.39	2.25	42.62
7	4.52	15.48	2.47	2.33	9.79
8	4.37	15.57	2.45	2.27	46.43
9	4.46	17.77	2.54	2.23	155.31
10	4.70	15.47	2.50	2.39	10.91
11	4.30	13.10	2.44	2.25	141.63
12	4.26	15.31	2.37	2.29	172.27
13	4.06	17.03	2.37	2.18	140.85
14	3.99	13.02	2.30	2.21	145.33
15	5.20	18.62	2.62	2.52	22.10
16	3.91	12.70	2.25	2.21	155.09
17	4.77	16.48	2.52	2.41	17.41
18	3.86	14.94	2.29	2.14	53.27
19	4.51	17.67	2.43	2.37	117.64
20	4.53	15.49	2.42	2.39	16.31
Media	4.31	15.56	2.41	2.28	81.07

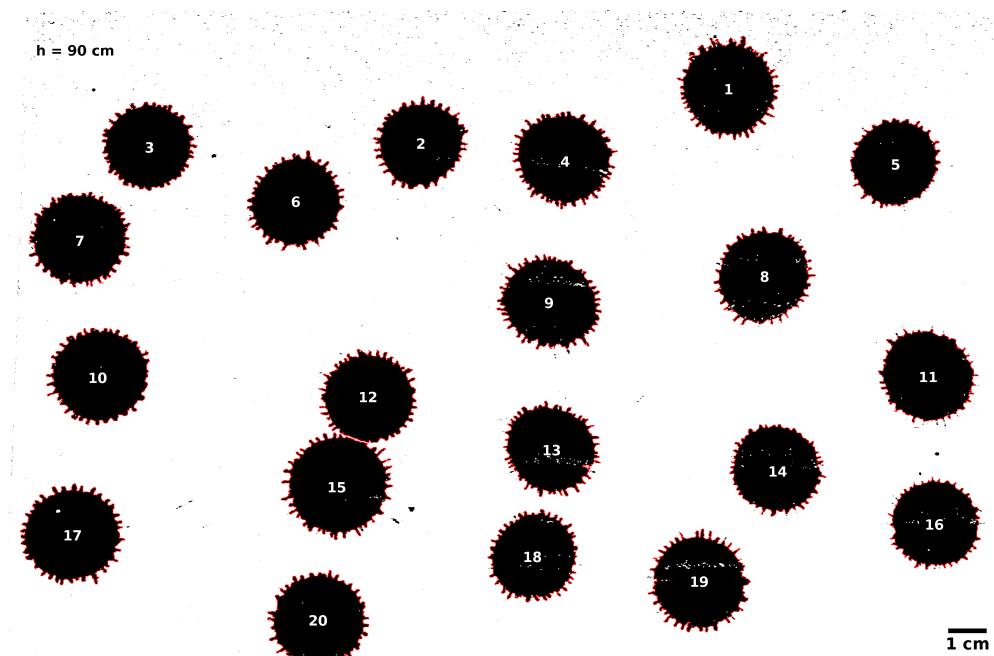


Figura 13: Mancha de gotas desde 90 cm

Cuadro 10: Datos obtenidos a partir de la figura 14 ($h = 100 \text{ cm}$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^{\circ}$)
1	4.72	19.64	2.61	2.30	11.96
2	4.14	15.67	2.46	2.14	156.61
3	4.62	15.22	2.56	2.29	136.65
4	4.70	15.83	2.50	2.39	175.36
5	4.75	19.43	2.69	2.25	147.23
6	4.12	17.65	2.37	2.21	15.10
7	5.18	19.88	2.70	2.44	53.69
8	3.70	16.00	2.19	2.15	169.90
9	4.18	16.78	2.44	2.18	152.60
10	6.06	19.56	2.84	2.72	21.04
11	4.61	17.24	2.49	2.36	66.54
12	6.02	20.09	2.87	2.68	151.57
13	4.66	18.43	2.51	2.37	143.10
14	4.60	16.78	2.53	2.31	117.92
Media	4.72	17.73	2.55	2.34	108.52

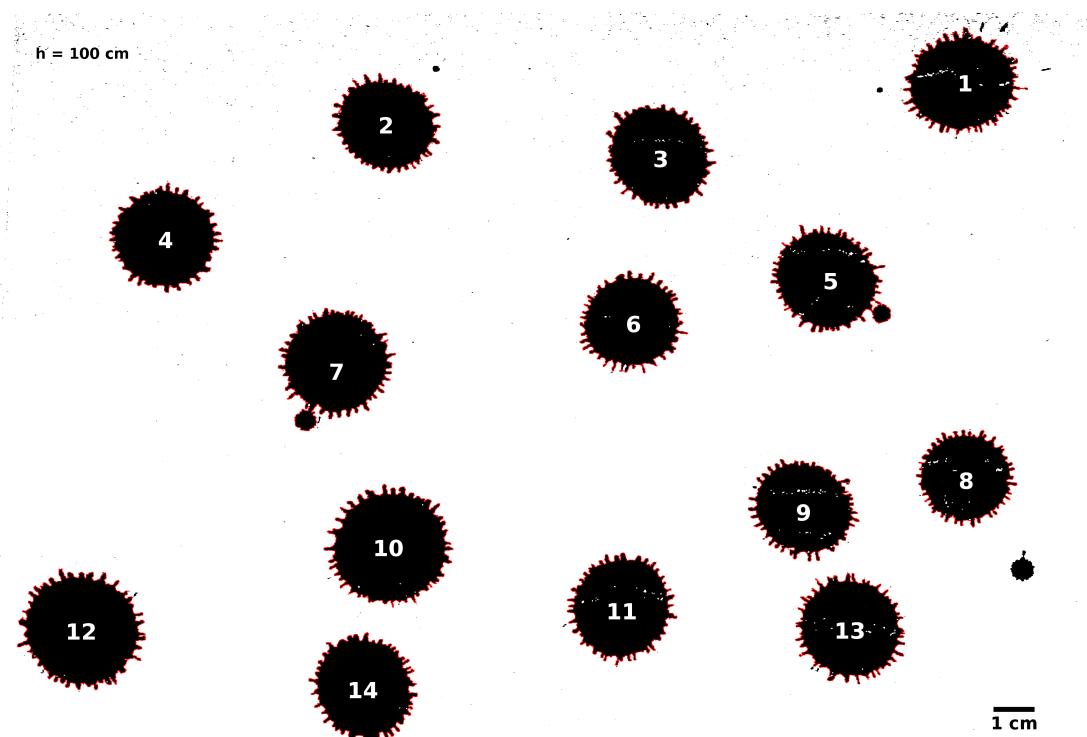


Figura 14: Mancha de gotas desde 100 cm

5.2. Experimento 2

Cuadro 11: Datos obtenidos a partir de la figura 15 ($\alpha = 15^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	4.33	9.66	2.38	2.32	163.36
2	2.68	8.43	1.87	1.82	158.93
3	4.45	10.53	2.44	2.32	172.27
4	3.52	9.79	2.28	1.96	12.8
5	3.1	8.12	2.09	1.89	14.36
6	4.84	11.56	2.67	2.31	1.74
7	4.07	10.74	2.35	2.2	16.97
8	4.72	10.31	2.56	2.35	1.45
9	4.71	10.97	2.58	2.33	1.75
10	3.55	8.97	2.21	2.04	173.2
11	4.02	9.38	2.38	2.15	163.1
12	4.16	9.18	2.31	2.29	98.69
Media	4.01	9.80	2.34	2.17	81.55

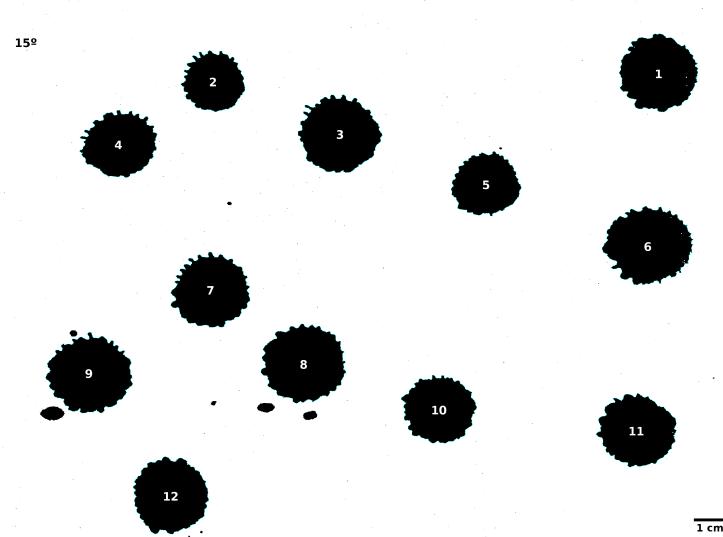


Figura 15: Mancha de gotas sobre plano inclinado 15°

Cuadro 12: Datos obtenidos a partir de la figura 16 ($\alpha = 30^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	5.2	13.31	2.66	2.49	12.57
2	4.29	12.56	2.45	2.23	3.41
3	4.02	11.95	2.58	1.98	3.42
4	4.05	11.67	2.34	2.2	174.81
5	4.13	12.16	2.42	2.17	171.12
6	4.01	11.75	2.5	2.04	163.46
7	4.9	13.39	2.77	2.25	23.62
8	4.15	13.2	2.58	2.05	173.84
9	4.46	12.32	2.58	2.2	149.62
10	5.9	15.15	3.21	2.34	178.33
11	4.03	11.81	2.52	2.04	10.14
12	3.98	11.28	2.48	2.04	13.59
13	4.39	13.15	2.53	2.21	167.4
14	4.77	11.71	2.52	2.41	177.13
15	4.59	10.97	2.69	2.17	3.77
Media	4.45	12.53	2.58	2.19	101.60

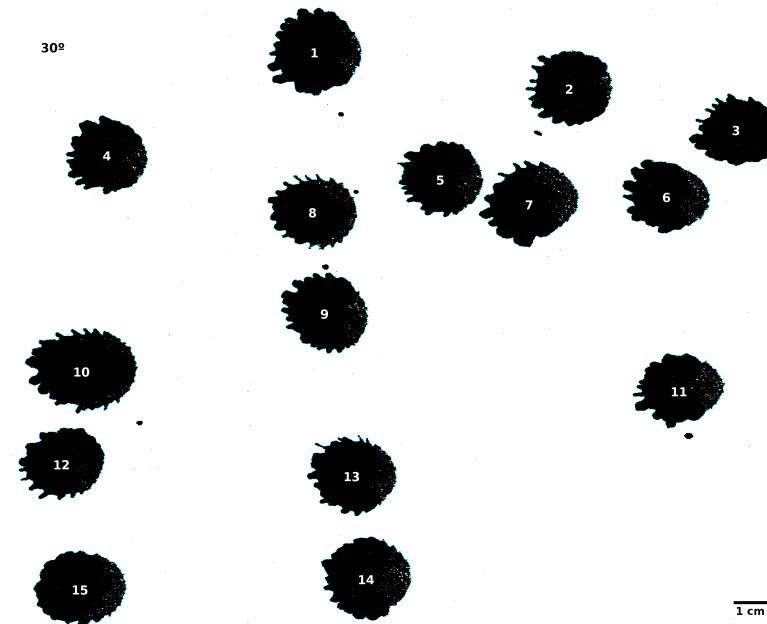


Figura 16: Mancha de gotas sobre plano inclinado 30°

Cuadro 13: Datos obtenidos a partir de la figura 17 ($\alpha = 45^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	4.58	11.77	3.34	1.75	172.99
2	4.74	12.98	2.97	2.03	178.92
3	5.56	16.10	3.18	2.22	2.11
4	5.51	15.08	3.23	2.17	177.29
5	5.00	13.71	3.14	2.03	176.35
6	5.13	13.63	3.28	1.99	1.60
7	6.05	17.35	3.57	2.16	3.37
8	5.64	14.79	3.41	2.11	0.75
9	6.24	14.61	3.43	2.32	8.27
Media	5.38	14.45	3.28	2.09	80.18

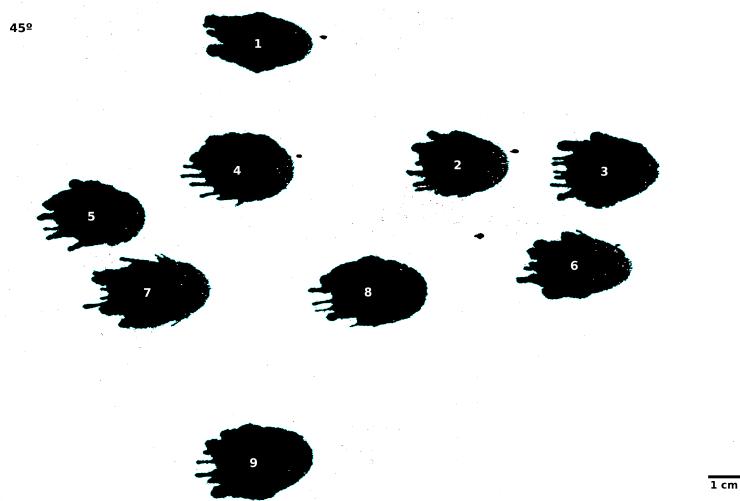


Figura 17: Mancha de gotas sobre plano inclinado 45°

Cuadro 14: Datos obtenidos a partir de la figura 18 ($\alpha = 60^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	8.08	21.75	8.73	1.18	0.95
2	5.6	18.08	6.1	1.17	171.92
3	8.4	16.42	6.46	1.66	178.11
4	6.69	17.99	6.27	1.36	176.16
5	6.91	20.11	5.66	1.55	0.52

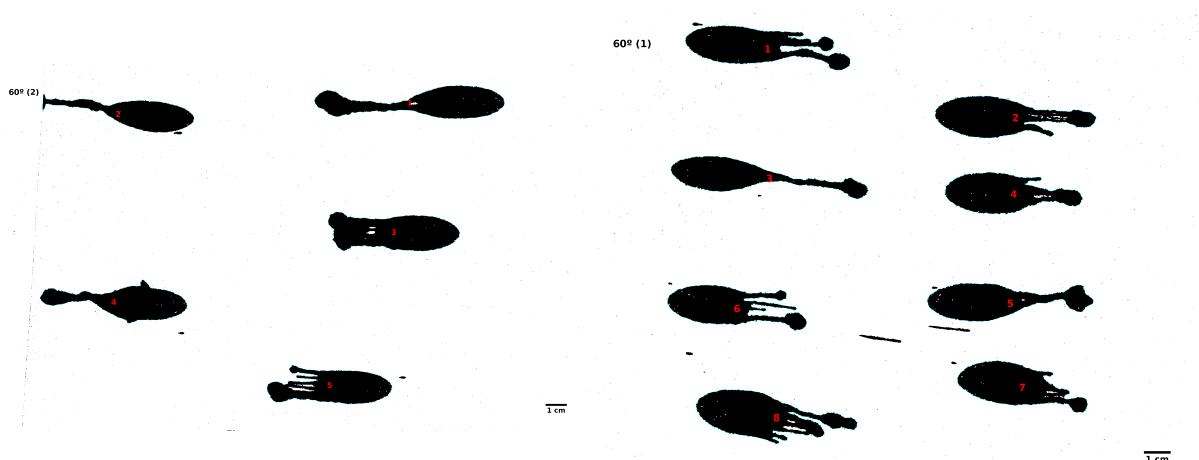


Figura 18: Mancha de gotas sobre plano inclinado 60°

Figura 19: Mancha de gotas sobre plano inclinado 60°

Cuadro 15: Datos obtenidos a partir de la figura 19 ($\alpha = 60^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	5.72	22.26	5.8	1.26	175.06
2	5.64	17.55	5.46	1.32	178.16
3	4.72	18.09	6.55	0.92	174.27
4	5.02	14.86	4.7	1.36	177.54
5	5.21	15.65	5.78	1.15	1.8
6	4.86	23.01	4.68	1.32	173.55
7	5.06	14.38	4.46	1.44	168.08
8	6.35	21.21	5.36	1.51	172.24
Media ²	6.02	18.57	5.85	1.32	134.49

²La media corresponde a los datos de las tablas 14 y 15

Cuadro 16: Datos obtenidos a partir de la figura 20 ($\alpha = 75^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	6.13	23.99	9.32	0.84	176.54
2	5.18	22.29	9.02	0.73	177.15
3	5.6	24.89	9.6	0.74	174.7
4	3.41	19.42	8.13	0.53	179.57

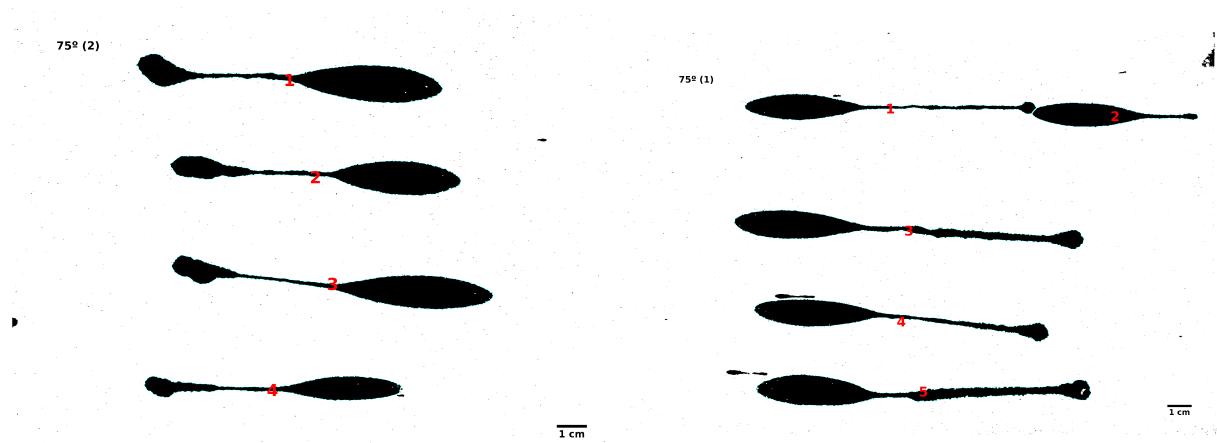


Figura 20: Mancha de gotas sobre plano inclinado 75°
Figura 21: Mancha de gotas sobre plano inclinado 75°

Cuadro 17: Datos obtenidos a partir de la figura 21 ($\alpha = 75^\circ$)

Gota	Área (cm^2)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)	Dirección ($^\circ$)
1	4.69	27.02	9.17	0.65	179.8
2	3.62	15.4	5.55	0.83	178.68
3	7.24	33.79	13.19	0.7	176.94
4	5.86	28.51	10.62	0.7	175.52
5	7.71	34.32	12.53	0.78	179.81
Media ³	5.49	25.51	9.68	0.72	177.63

³La media corresponde a los datos de las tablas 16 y 17

Las tablas 18 y 19 muestran respectivamente la media de los datos obtenidos en cada una de las diferentes alturas del primer experimento y la media de los datos para cada una de las inclinaciones del segundo experimento con sus valores de error correspondientes.

El error corresponde a la suma del error de precisión del instrumento usado y el error aleatorio siguiendo la fórmula que se muestra en 3⁴:

$$E_{total} = \sqrt{E_{precisión}^2 + E_{aleatorio}^2} \quad (3)$$

$$E_{precisión} = 0,1 \text{ cm} \quad (\text{Error de la regla usada en las imágenes}) \quad (4)$$

$$E_{aleatorio} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \sqrt{(v_i - \bar{v})^2} \quad (\text{Desviación estándar}) \quad (5)$$

Cuadro 18: Datos obtenidos en el experimento 1

Altura (cm)	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)
10 ± 0,1	1.6 ± 0.3	7.1 ± 1.2	1.5 ± 0.2	1.4 ± 0.2
20 ± 0,1	2.3 ± 0.4	7.5 ± 0.9	1.7 ± 0.2	1.7 ± 0.2
30 ± 0,1	3.1 ± 0.5	9.2 ± 1.0	2.0 ± 0.2	1.9 ± 0.2
40 ± 0,1	3.4 ± 0.4	12.1 ± 1.7	2.1 ± 0.2	2.0 ± 0.2
50 ± 0,1	3.5 ± 0.4	11.5 ± 1.3	2.2 ± 0.2	2.0 ± 0.1
60 ± 0,1	3.7 ± 0.4	12.2 ± 1.2	2.2 ± 0.2	2.1 ± 0.2
70 ± 0,1	3.8 ± 0.6	13.6 ± 1.8	2.3 ± 0.2	2.1 ± 0.2
80 ± 0,1	4.1 ± 0.3	14.7 ± 1.6	2.4 ± 0.1	2.2 ± 0.1
90 ± 0,1	4.3 ± 0.4	15.6 ± 2.0	2.4 ± 0.1	2.3 ± 0.1
100 ± 0,1	4.7 ± 0.7	17.7 ± 1.8	2.6 ± 0.2	2.3 ± 0.2

Cuadro 19: Datos obtenidos en el experimento 2

Altura (cm)	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Eje mayor (cm)	Eje menor (cm)
15 ± 0,1	4.0 ± 0.7	9.80 ± 1.05	2.34 ± 0.24	2.17 ± 0.22
30 ± 0,1	4.5 ± 0.6	12.43 ± 1.07	2.59 ± 0.23	2.19 ± 0.18
45 ± 0,1	5.4 ± 0.6	14.45 ± 1.67	3.28 ± 0.20	2.09 ± 0.19
60 ± 0,1	6.0 ± 1.2	18.57 ± 2.88	5.85 ± 1.10	1.32 ± 0.22
75 ± 0,1	5.5 ± 1.5	25.51 ± 6.22	9.68 ± 2.28	0.72 ± 0.14

⁴ El error de precisión del área es el mismo que el del perímetro ya que el programa calcula el área contando píxeles y por lo tanto no se propaga.

6. Análisis de datos

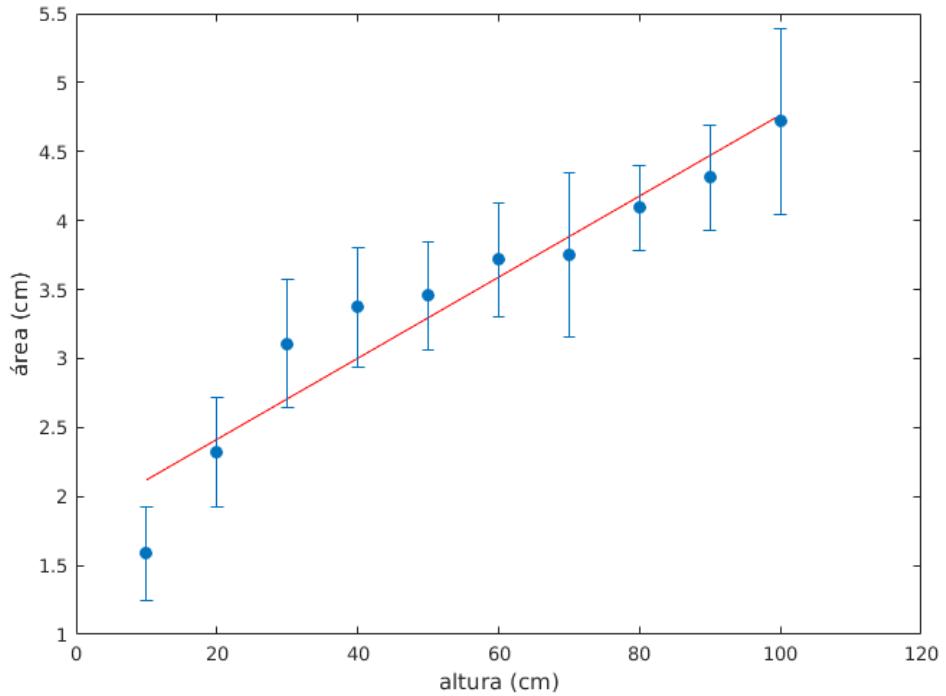


Figura 22: Área vs. Altura

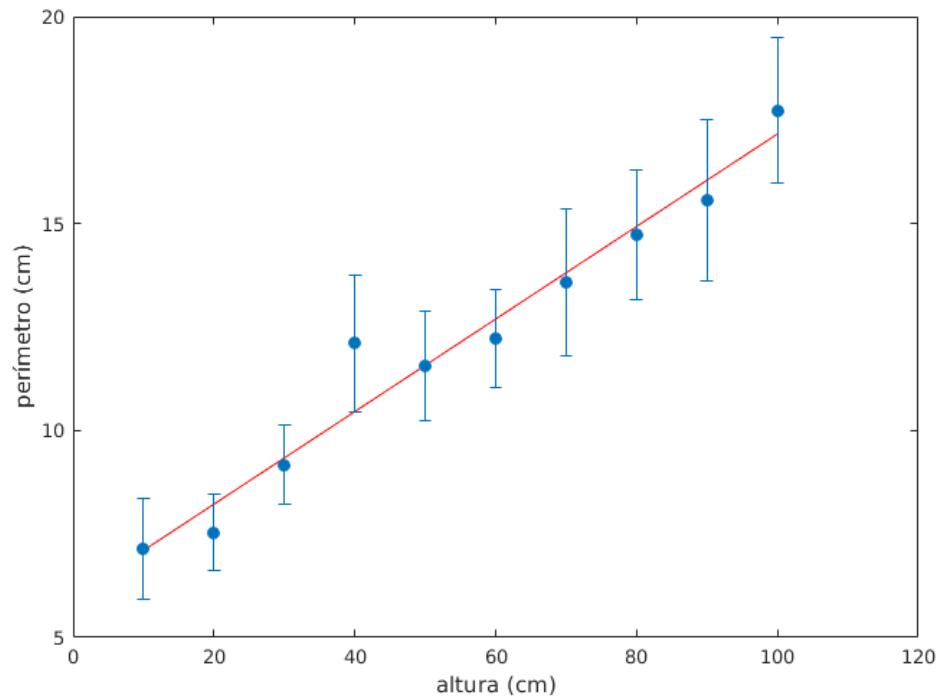


Figura 23: Perímetro vs. Altura

La figura 22 muestra la correlación entre el área y la altura desde que se lanzó la gota. Esta relación tiene un comportamiento lineal descrito por la función 6:

$$A(h) = a * h + b \quad (6)$$

$$a = 0,02939 \pm 0,00743$$

$$b = 1,826 \pm 0,461$$

La figura 23 muestra la correlación entre el perímetro y la altura desde que se lanzó la gota. Esta relación tiene un comportamiento lineal descrito por la función 7:

$$P(h) = a * h + b \quad (7)$$

$$a = 0,1118 \pm 0,0181$$

$$b = 5,984 \pm 1,125$$

6.1. Observaciones

Podemos observar que la pendiente de la función que modeliza el área es menor a la del perímetro, por consiguiente, el perímetro aumenta mucho más rápido que el área en relación a la altura, debido a los "picos" que se forman al caer de mayor altura.

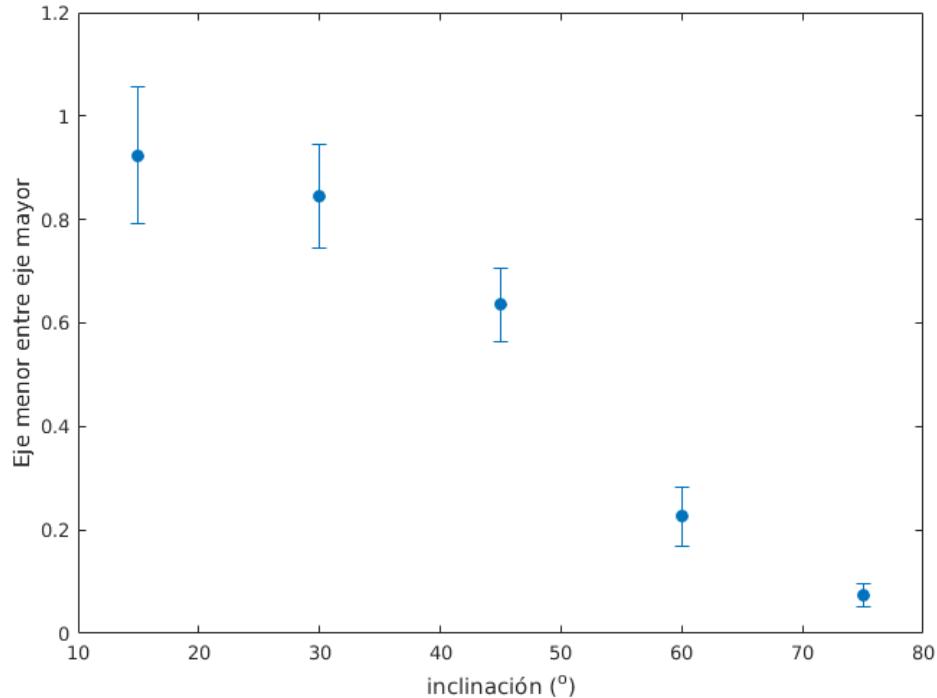


Figura 24: Proporción eje mayor - eje menor respecto a la inclinación del plano de impacto

7. Evaluación de los resultados

8. Conclusión

Bibliografía

- [1] The International Association for the Properties of Water y Steam. “Revised Release on Surface Tension of Ordinary Water Substance”. En: (2014). URL: <http://www.iapws.org/relguide/Surf-H2O-2014.pdf>.
- [2] Ph.D. Roger P. Woodward. “Surface Tension Measurements Using the Drop Shape Method”. En: (). URL: <http://www.firsttenangstroms.com/pdfdocs/STPaper.pdf>.
- [3] Wayne Rasband. *ImageJ*. Ver. 1.50i linux x86_64. 16 de jun. de 2016. URL: imagej.nih.gov/ij/.