

EDUARDO ALEXIS GÓMEZ BONAGAS

ID: UB58582SHY67592

COURSE: HYDROLOGICAL BALANCE

10 AUG 2019

DAVID, CHIRIQUI, PANAMA.

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Características de la Cuenca de Estudio.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Configuración Hidrográfica de la Cuenca.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Balance de Agua Superficial.....</b>	<b>5</b>
<b>4.1 Metodología.....</b>	<b>5</b>
<b>4.2 Ecuación de Continuidad.....</b>	<b>5</b>
<b>4.3 Cuenca Propia.....</b>	<b>7</b>
<b>4.3.1. Método Directo.....</b>	<b>8</b>
<b>4.3.2. Método indirecto.....</b>	<b>9</b>
<b>4.4 Estimación del volumen total de lluvia .....</b>	<b>9</b>
<b>4.5 Volumen medio anual de escurrimiento natural.....</b>	<b>11</b>
<b>5. Disponibilidad de agua superficial.....</b>	<b>12</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>14</b>
<b>7. Bibliografía.....</b>	<b>15</b>
<b>8. Examen General de conceptos de Balance y Disponibilidad Hídrica.....</b>	<b>16</b>

## **1. Introducción.**

El agua es un recurso natural finito, conocer la cantidad y calidad de la misma es indispensable para la planeación y desarrollo económico y social de una cuenca. La cantidad de agua disponible en una cuenca se puede calcular de diferentes maneras, en este ensayo explicaremos la ecuación de continuidad que, de un modo simple, se puede explicar que todo lo que entra menos lo que sale es igual a cero (CONAGUA, 2015). Considerando que las entradas son la producción de agua de una cuenca, importaciones provenientes de otras y los retornos de agua como resultado del uso. Por otro lado, las salidas de agua son los usos de agua que de manera natural o artificial salen de la cuenca. En general, los datos de entrada y salida deben manejarse en una matriz de series históricas de por lo menos 20 años de registros, pero preferentemente periodos más largos que consideren lluvia y estiaje. Estos datos forman extensas series históricas que se deberán almacenar y organizar dentro de una estructura lógica y flexible. La producción de agua en una cuenca es uno de los componentes hidrológicos más importantes para el cálculo de disponibilidad de agua superficial. El volumen de escurrimiento natural que se produce en una cuenca se le conoce como  $C_p$  "Cuenca Propia" y se puede calcular de dos formas de acuerdo con la norma NOM-011-CONAGUA-2015. Una es mediante "Método Directo", que toma los registros de los volúmenes aforados de aguas abajo y aguas arriba de la cuenca. El segundo método se denomina "Método Indirecto", este es el más usado, por no contar con información medida en gran parte de las cuencas en estudio. Este método se basa en la relación lluvia-escurrimiento y el más usado es el coeficiente de escurrimiento. La conservación y restauración del equilibrio ecológico debe ser una prioridad en cada país, la protección del ambiente deberá ser una obligación de todos con

el fin de propiciar el desarrollo sustentable y respetar el derecho a vivir en un medio ambiente adecuado que propicie el desarrollo, la salud, el bienestar y la participación comprometida de todos en el fortalecimiento de la conciencia ecológica, y la socialización de proyectos de desarrollo sustentable.

Para el desarrollo de esta materia analizamos varios métodos de cálculo de Balance y Disponibilidad y escogimos la NOM – 011 CONAGUA 2015 del hermano País de México debido a su metodología sencilla y herramientas de cálculo de disposición libre ya que esta es la mayor dificultad lo complejo y costoso de las herramientas tecnológicas para tal fin.

## **2. Características de la Cuenca de Estudio.**

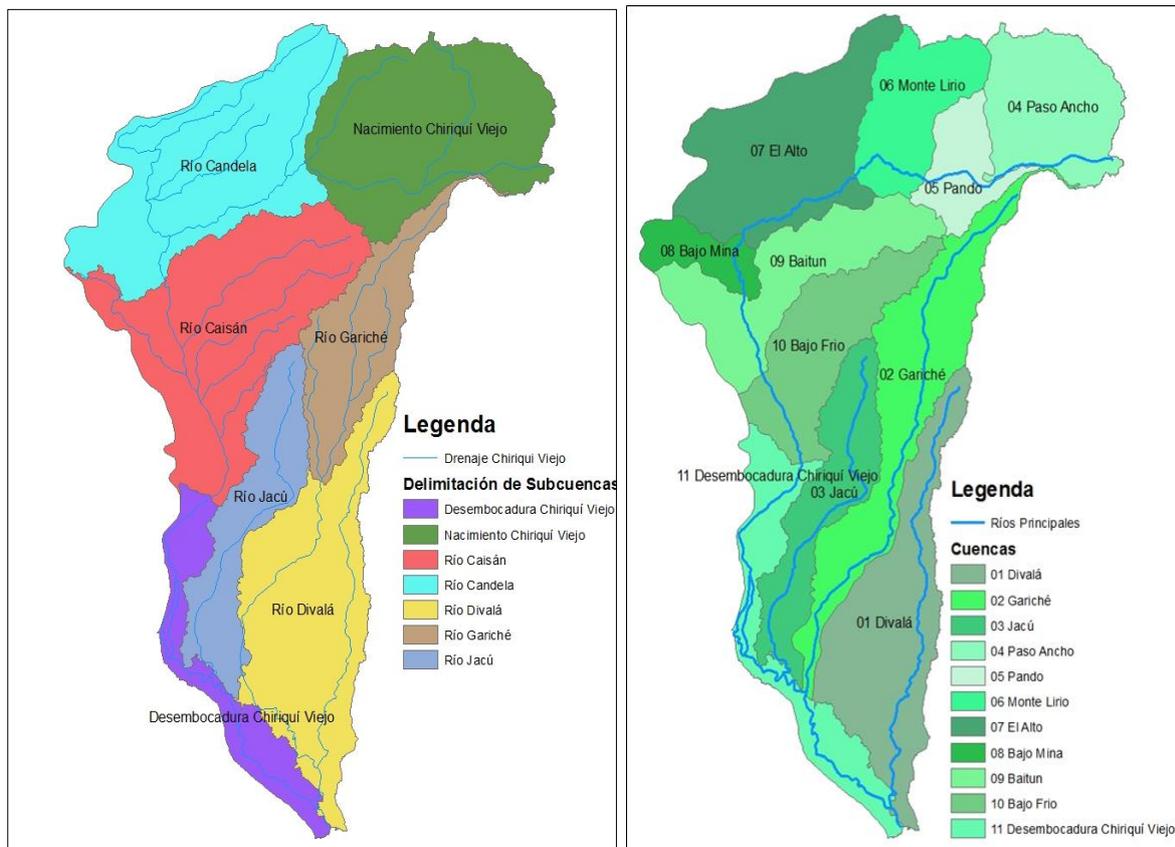
Iniciaremos con investigar cuales son las características relevantes de la cuenca, enumeraremos algunos aspectos que serán requerido para un estudio integral de Balance y Disponibilidad Hídrica.

- **Ubicación de la Cuenca**, datos de localización geográfica, punto mas alto de l cuenca, área de la cuenca, rio principal, relieve de la cuenca, longitud y datos regionales de la cuenca de estudio.
- **Caracterización de la cuenca**, se describen las actividades socioeconómicas y el marco ambiental de la cuenca en estudio. En el primero se presenta las principales actividades económicas, la población y red vial. En la segunda se incluye los usos de suelo como son la cobertura boscosa, capacidad agrológica, zona de vida, áreas protegidas y geología. Dentro de este marco ambiental también está el clima, la hidrografía

### 3. Configuración Hidrográfica de la Cuenca.

Este es uno de los pasos más importante en el cálculo de Balance y Disponibilidad, ya que como es sabido cada cuenca es divididas en unidades más pequeñas para un mejor estudio, y en general estas divisiones llamadas subcuencas se encuentran en los afluentes primarios y secundarios del rio principal que da nombre a la cuenca. En los procesos de estudio se analiza algo diferente y se hacen divisiones de regiones hídricas determinadas por estaciones de control (Estaciones Hidrológicas que podrán en su momento suministrar datos de entradas y salida de las regiones hídricas).

**Figura 1. Ejemplo de configuraciones hídricas cuenca 108 Rio Chiriquí Viejo (Panamá)**



Fuente: IMTA – MIAMBIENTE

#### **4. Balance de Agua Superficial**

##### **4.1 Metodología**

El balance hídrico de cuenca es la equidad entre los volúmenes de agua que entran y salen dentro de un sistema hidrológico. El escurrimiento es el volumen medio natural anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica. En este contorno el escurrimiento virgen por cuenca propia deberá conocerse como el volumen producido en la cuenca en el caso hipotético de que en esta no existiera aprovechamientos. Bajo este escenario el escurrimiento virgen sería igual al que se mediría al final de la misma (Eskurrimiento virgen = Eskurrimiento aforado en la cuenca).

Para la estimación del escurrimiento virgen, se toma en cuenta la ecuación de conservación de masa o continuidad:

##### **4.2 Ecuación de Continuidad.**

$$\Delta V = v_E - v_S$$

Donde:

$\Delta V$  es la variación del volumen en un intervalo de tiempo

$v_E$  es el volumen de entrada para en un intervalo de tiempo

$v_S$  es el volumen de salida para en un intervalo de tiempo

**En donde los volúmenes de entrada son:**

**C<sub>p</sub>**.- aportación por cuenca propia

**A<sub>r</sub>**.- aportación por cuenca tributaria o escurrimiento desde aguas arriba de la cuenca

**R**.- retornos al sistema en función de diferentes usos

**Im**.- Importación desde otras cuencas adyacentes que no necesariamente escurre por gravedad.

**Los volúmenes de salida son:**

**E<sub>v</sub>**.- evaporación de los cuerpos de agua (despreciable cuando la cuenca no tiene cuerpos de agua).

**A<sub>b</sub>**.- volumen de salida hacia aguas abajo

**U**.- volumen de salida que toman los diferentes usuarios para consumo correspondiente.

**Ex**.- exportación artificial del recurso hacia otras cuencas adyacentes.

Dando como resultado la siguiente Ecuación.

$$\Delta v = (C_p + A_r + R + Im) - (E_v + A_b + U + Ex)$$

Es necesario aclarar que el retorno corresponde a una parte del volumen de agua utilizada, por ejemplo: el usuario de generación de energía hidroeléctrica regresa prácticamente el

100% del agua que usa, mientras que los otros usuarios regresan un porcentaje del agua utilizada a la cuenca.

Despejando Cuenca Propia de la ecuación queda de la siguiente forma:

$$C_p = (A_b + E_v + Ex + Usos) + \Delta v - (A_r + R + lm)$$

#### **4.3 Cuenca Propia.**

El volumen de la ecuación anterior es el volumen de aportación por cuenca propia o escurrimiento virgen que produce de manera natural la cuenca antes de cualquier extracción o uso y sin considerar otras entradas.

Cuando no se cuenta con información hidrométrica, el volumen por cuenca propia se obtiene con los métodos indirectos. Existe una gran cantidad de métodos indirectos para calcular el volumen de escurrimiento por cuenca propia o escurrimiento virgen, pero en términos prácticos todos conceptualmente involucran las mismas variables.

Ciertos métodos usan información adicional como tipo de suelo, cobertura vegetal, características del cauce principal como longitud y pendiente, además de las características fisiográficas de la cuenca.

Las series históricas, son la recopilación de información de las fuentes de donde se obtienen los datos y muchas veces se genera una metodología para completarla cuando no existía información o que en su defecto se debe desagregar la información mensual para llenar la serie histórica de datos con promedios anuales.

De acuerdo con NOM-011, por lo menos las series históricas deben contar con 20 años de registros con el fin de que queden registrados los periodos de lluvia y de estiaje.

VARIABLES CON SERIE DE DATOS MÍNIMOS DE 20 AÑOS.

- a) Cuenca propia (Cp)
- b) Aguas Arriba (Ar)
- c) Aguas Abajo (Ab)
- d) Retornos (R)
- e) Usos (U)
- f) Evaporación (Ev)
- g) Variación de Volumen (DV)

No está por demás mencionar, que el periodo de años seleccionados deberá ser el mismo para todas las variables; además, los datos de cada serie deberán pasar por un análisis de control de calidad para tener información homogeneizada. Antes de calcular cuenca propia, es necesario construir un sistema de cuencas interconectadas en el que se indique los nombres de los cauces, dirección del flujo y, en su caso, la ubicación de los embalses naturales y artificiales.

Este cálculo según la NOM-011-CONAGUA-2015 se realiza mediante dos métodos que son el directo y el indirecto.

#### **4.3.1. Método Directo**

Para el cálculo de cuenca propia por la metodología directa se requiere información hidrometeorológica, datos fiables para poder trabajar con la ecuación de cuenca propia.

En la mayoría de los casos no contamos con información con los debidos tiempos de validación, y en la mayoría de la cuenca. En estos casos se utiliza una combinación de la metodología directa e indirecta para lograr obtener la mayor cantidad de variables posibles.

#### **4.3.2. Método indirecto**

Para calcular el escurrimiento utilizando información climatológica se pueden aplicar diferentes metodologías entre las que podemos destacar: Temez, Coutagne, Turc, Langbein, Smith y el coeficiente de escurrimiento. La totalidad de ellos contemplan expresiones algebraicas derivadas de analizar el comportamiento de una diversidad de cuencas.

Dado que la metodología establecida para el presente trabajo se basa en la NOM-011–CONAGUA-2015, en el caso de cuencas sin hidrometría se aplicó el método del **coeficiente de escurrimiento**.

#### ***4.4 Estimación del volumen total de lluvia.***

Conocer el volumen de lluvia es indispensable para determinar el escurrimiento de una cuenca. Para obtener este escurrimiento a partir de registros de precipitación es necesario calcular el volumen precipitado en la cuenca. Este volumen de agua precipitada se obtiene del producto que resulta de la altura de precipitación por la superficie de la zona de estudio. El valor de precipitación media anual es el valor requerido en la disponibilidad de agua superficial.

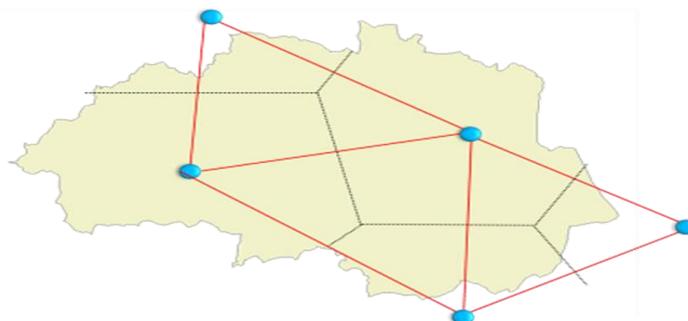
Para ello, la norma propone dos metodologías para estimar el volumen de lluvia: Isoyetas y polígonos de Thiessen

- Método de las Isoyetas. Con la información climatológica (precipitación) en la red de estaciones ubicadas dentro y en la periferia de la zona en estudio, se procede a trazar las curvas de igual lámina de precipitación (isoyetas), interpolando la información de referencia y considerando la ubicación de cada una de las estaciones.

Para la variable de precipitación se recomienda utilizar el método de interpolación el IDW (Inverse Distance Weighted), que presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. En la actualidad esta metodología se ha simplificado con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este método permite obtener una buena estimación del volumen de lluvia.

- Métodos de los Polígonos de Thiessen. Este método se utilizó para este estudio, utiliza la red de estaciones climatológicas disponibles y consiste en obtener el área de influencia de cada una de ellas dentro de la zona en estudio que consiste en:
  1. Unir con líneas rectas las estaciones que tiene influencia en la zona de estudio
  2. Trazar mediatrices a las líneas que unen las estaciones.
  3. Prolongar dichas mediatrices hasta el contorno de la cuenca.

**Figura 2. Generación de polígonos de Thiessen.**



4. Calcular el área de influencia de cada una de las estaciones.
5. Cada estación tiene un valor de precipitación medido que se multiplica por el porcentaje de área que le corresponde para obtener la precipitación media de la zona.

Con cualquiera de los dos métodos descritos anteriormente se estima el volumen total precipitado que posteriormente puede describir a la lluvia como una lámina de precipitación promedio para un intervalo de tiempo dado.

Una vez obtenida la precipitación se procedió a calcular el escurrimiento, en donde se puede aplicar diferentes metodologías entre las que podemos destacar: Temez, Coutagne, Turc, Langbein, Smith y el coeficiente de escurrimiento. La totalidad de ellos contemplan expresiones algebraicas derivadas de analizar el comportamiento de una diversidad de cuencas.

#### ***4.5 Volumen medio anual de escurrimiento natural.***

El volumen medio anual de escurrimiento natural se determina indirectamente, mediante la siguiente expresión:

##### **Volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca**

=Precipitación anual de la cuenca \*Área de la cuenca \*Coeficiente de escurrimiento

Es importante en un balance hídrico analizar periodos de por lo menos 20 años para obtener valores relevantes en esta línea de tiempo que nos muestren un panorama de los escenarios en época de estiaje e invierno.

### **5. Disponibilidad de agua superficial.**

El cálculo de la disponibilidad de agua superficial se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, “Conservación del recurso Agua”, que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas superficiales nacionales de escurrimiento superficial.

Tomando como punto de partida la Ecuación de la Continuidad, resumida de la siguiente manera:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN DE ALMACENAMIENTO}$$

La estimación de disponibilidades por cuenca se resume en los siguientes tres pasos:

#### **I. Ecurrimiento aguas abajo (análisis y calculo)**

El primer paso de la metodología es calcular el escurrimiento aguas abajo (Ab) en la cuenca. En este paso es obligado calcular los escurrimientos desde donde inician hasta la salida de la cuenca. Aquí se identifican las cuencas fronteras en donde el valor de Ar (aguas arriba) es cero.

La ecuación que describe el escurrimiento aguas abajo se obtiene al despejar,

$$Ab = (Cp + Ar + R + Im) - (Ex + Ev + U) - DV$$

#### **II. Distribución de las demandas hacia aguas arriba**

El segundo paso consiste en calcular la distribución de las demandas hacia aguas arriba que es la suma de usos, evaporación el volumen comprometido aguas abajo y de

exportaciones. Con la finalidad de reservar el volumen que demandan los usuarios de las cuencas bajas, se consideran:

$$Cp + Ar + R + Im = \text{oferta real (entradas a la cuenca)}$$

$$U + Ev + Ab + Ex = \text{Salidas}$$

$$U + Ev + RxyAb + RxyEx = \text{Salidas (Considerando volúmenes reservados)}$$

En este paso, el cálculo de las reservas de agua se realiza en sentido contrario, es decir justamente al revés del paso anterior.

### III. Cálculo de la disponibilidad superficial

Este es el último paso de la metodología, aquí se calcula la disponibilidad de la cuenca ( $D_{xx}$ ) y hacia aguas abajo ( $D_{xy}$ ). Aquí no importa el orden del cálculo como en los dos pasos anteriores. Este volumen de disponibilidad media anual de agua superficial en cuenca propia se calcula con la expresión:

$$D_{xx} = (C_{px} + R_x) - R_{xx}$$

En otras palabras, la disponibilidad en cuenca propia es igual al volumen de la cuenca propia más el volumen de **retornos** menos el volumen **reservado** por cuenca propia (que es el escurrimiento reservado por cuenca propia a partir del volumen de agua producido en la misma cuenca).

La disponibilidad media anual de agua superficial hacia aguas abajo se calcula con la expresión:

$$D_{xy} = A_{bx} - R_{xy}$$

Es decir, la disponibilidad hacia aguas abajo es el volumen de la cuenca hacia aguas abajo menos el volumen reservado comprometido aguas abajo. En resumen, los tres pasos anteriores son requeridos para el cálculo de la disponibilidad de agua superficial.

**Figura 3. Cuenca Virgen Rio Chiriquí Viejo, Panamá.**



## **6. Conclusiones.**

En el desarrollo de este ensayo vimos la importancia de llevar datos estadísticos en cuencas, Socioeconómicos, Climáticos, Geológicos, Hidrológicos, Usos de Suelos, y sobre todo una buena política regulatoria del recurso agua. La Metodología estudiada es la más sencilla y manejable para un buen estudio de cuencas y la base es constar con datos fiables y con una serie de tiempo que nos ayude a buscar los promedios requeridos para un buen balance y disposición del recurso.

De primera instancia se debe iniciar con la cultura de medición de los parámetros requeridos para ir ajustando El Balance y la Disponibilidad Hídrica que está en constante cambios evolutivos, cada día la demanda de agua es mayor y se hace complicado su disponibilidad debido a los fenómenos del Niño y La Niña además de la eminente

aceleración del Cambio Climático. Hemos notado que existen muchas cuencas con disponibilidad en déficit, consumen más agua de la que se produce en la cuenca y han implementado estrategias de gestión para poder resolver la falta de agua, mencionaremos algunos recursos de gestión que para algunos serán desconocidos pero que se vislumbran como acciones venideras para afrontar la falta de agua a nivel mundial.

- Implementación de Sistemas de Cosecha de Agua Lluvia.
- Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales para Uso Industrial y Agropecuario.
- Plantas de Desalinización de Agua de Mar.
- Embalses Multipropósitos.
- Sistema de Conducción y Almacenamiento de Aguas Pluviales.
- Cosecha de Aguas de Glaciales.
- Exportación Internacional de Agua.
- Explotación de las Aguas Subterráneas solo para consumo esencial de consumo humano.

El panorama futuro apunta a que los países con mayor Disponibilidad Hídrica facilitaran agua a los que carecen del recurso, está en mano de cada habitante del planeta hacer un uso eficaz de agua y tratar de no llegar a estos extremos.

## **7. Bibliografía.**

- ❖ **NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015**, Conservación del Recurso Agua-Que establece las especificaciones y el Método para determinar la Disponibilidad Media Anual de las Aguas Nacionales.

**8. Prueba de Conocimientos Balance Hidrológico.**

1. ¿De la ecuación de Continuidad podemos decir?

A. Ecuación compleja.

A. Entradas menos salidas igual a cero.

B. Continuidad hídrica.

2. ¿Para un buen Balance es necesario?

A. Datos estadísticos de por lo menos 20 años.

B. Datos recientes de la cuenca.

C. Datos de mayor aportes a la cuenca

3. ¿El volumen de escurrimiento natural que se produce en una cuenca?

A. Aportes.

B. Variación de Volumen.

C. Cuenca Propia.

4. ¿Método de cálculo del volumen de escurrimiento natural que toma los registros de los volúmenes aforados de aguas abajo y aguas arriba de la cuenca?

A. Directo

B. Indirecto

C. Mixto

5. ¿La división de la cuenca en regiones hídricas para el cálculo de balance?

- A. No es de importancia.
- B. Mejor distribución del recurso en la cuenca.
- C. Estaciones de registro de escurrimiento aguas arriba y aguas abajo.

6. ¿Qué entendemos por escurrimiento Virgen?

- A. Saliente de acuíferos.
- B. Volumen generado en la cuenca sin aprovechamiento.
- C. Escurrimiento no medido.

7. ¿Método de estimación del volumen total de lluvia?

- A. Isoyetas.
- B. Temez.
- C. Coutagne.

8. ¿De la Disponibilidad Hídrica?

- A. Independiente al Balance.
- B. Se analiza de aguas arriba a aguas abajo.
- C. Se analiza de aguas abajo a aguas arriba.

9. ¿Del Balance Y Disponibilidad Hídrica?

- A. Esta se mantiene en el tiempo.
- B. Son enunciados infinitos.
- C. Evolucionan a través del tiempo.

10. ¿La Disponibilidad Hídrica?

- A. No es de preocuparse hay mucha agua disponible.
- B. Está en Déficit.
- C. Esta pareja al Balance.

**LISTA PARA REVISAR POR SU PROPIA CUENTA EL VALOR DEL DOCUMENTO**

Antes de presentar su documento, por favor utilice esta página para determinar si su trabajo cumple con lo establecido por AIU. Si hay más que 2 elementos que no puede verificar adentro de su documento, entonces, por favor, haga las correcciones necesarias para ganar los créditos correspondientes.

Yo tengo una página de cobertura similar al ejemplo de la página 89 o 90 del Suplemento.

Yo incluí una tabla de contenidos con la página correspondiente para cada componente.

Yo incluí un abstracto del documento (exclusivamente para la Tesis).

Yo seguí el contorno propuesto en la página 91 o 97 del Suplemento con todos los títulos o casi.

Yo usé referencias a través de todo el documento según el requisito de la página 92 del Suplemento.

Mis referencias están en orden alfabético al final según el requisito de la página 92 del Suplemento.

Cada referencia que mencioné en el texto se encuentra en mi lista o viceversa.

Yo utilicé una ilustración clara y con detalles para defender mi punto de vista.

Yo utilicé al final apéndices con gráficas y otros tipos de documentos de soporte.

Yo utilicé varias tablas y estadísticas para aclarar mis ideas más científicamente.

Yo tengo por lo menos 50 páginas de texto (15 en ciertos casos) salvo si me pidieron lo contrario.

Cada sección de mi documento sigue una cierta lógica (1, 2,3...)

Yo no utilicé caracteres extravagantes, dibujos o decoraciones.

Yo utilicé un lenguaje sencillo, claro y accesible para todos.

Yo utilicé Microsoft Word (u otro programa similar) para chequear y eliminar errores de ortografía.

Yo utilicé Microsoft Word / u otro programa similar) para chequear y eliminar errores de gramática.

Yo no violé ninguna ley de propiedad literaria al copiar materiales que pertenecen a otra gente.

Yo afirmo por este medio que lo que estoy sometiendo es totalmente mi obra propia.



Eduardo Alexis Gómez Bonagas.

23 de Abril 2019.