

**LA PROBABILIDAD DIARIA DE LAS LLUVIAS Y LA FRECUENCIA
HORARIA DE SU INICIO COMO CRITERIO PARA MANEJO
DE AGUAS Y SUELOS EN TURRIALBA, COSTA RICA //**

Edgar Amézquita Collazos

Warren M. Forsythe

V CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

IV Coloquio Nacional sobre Suelos

Medellín - Colombia, Agosto 1975

1. INTRODUCCION

El empleo de probabilidades de ocurrencia de fenómenos climatológicos, es muy util para planear con determinadas probabilidades de éxito, dadas por la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos, la agricultura a corto, mediano o largo plazo.-

En los países Latinoamericanos se dispone de cierto número de estaciones climatológicas que pueden proveer datos básicos que analizados adecuadamente pueden ser usados para el planeamiento agrícola.-

Conscientes de que estos datos son poco usados porque se desconoce comunmente el modo de manejarlos se planeó un trabajo intitulado "Estudios Hidrológicos y Edafológicos para Conservación de Aguas y Suelos en Turrialba, Costa Rica" en el que se trata de utilizar al máximo los datos de precipitación como criterio para una toma más acertada de decisiones.-

El presente trabajo es un aparte de aquel, y estudia la probabilidad de ocurrencia de días húmedos o secos a través del año y la distribución de frecuencia de la hora de inicio de las lluvias, para utilizarlos en la toma de decisiones en agricultura.-

Con esta contribución se quiere poner al alcance de la gente que trabaja en función del campo, una metodología para hacer un uso eficiente de los datos de precipitación.-

2. REVISION DE LITERATURA

El hombre frecuentemente tropieza con dificultades para adaptarse al mundo circundante. La solución a estas dificultades requiere de la creación de técnicas que han de basarse en una investigación previa. Solo bajo el análisis de informaciones fidedignas puede el hombre intuir estrategias eficaces para hacer frente a las dificultades del medio (5).

Las lluvias siempre han afectado favorable y desfavorablemente al hombre. Por eso, la predicción del comportamiento y características de lluvias futuras es muy útil para el conocimiento de las posibilidades de una región y para su planificación.

El servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (8) al referirse a la variación de los requerimientos de riego causados por la variabilidad de los factores climáticos, indica que el desarrollo de una suplencia adecuada de agua no debe ser basada en requerimientos promedios o en determinaciones de estos requerimientos provenientes de valores medios de los datos disponibles ya que esto daría una suplen-

cia adecuada en aproximadamente la mitad de las veces. Se debe por esto, estimar los requerimientos en una base probabilística.-

La predicción de eventos climatológicos futuros se basa en el análisis probabilístico de datos históricos. Conrad y Pollak (2), y Ven Te Chow (3) mencionan y discuten métodos específicos.-

La longitud del período de acumulación de datos debe ser al menos de 20 años de acuerdo con Ven Te Show (3). Períodos inferiores brindan una información menos confiable.-

La estimación de la probabilidad de exceder cantidades específicas de lluvia en un período considerado, horas, días, -semanas etc, debe ser el objetivo del análisis de datos de precipitación (7).-

3. MATERIALES Y METODOS

Para la realización del trabajo se utilizaron datos de registro diario (24 horas) de lluvias, los que fueron perforados en tarjetas IBM siguiendo algunas sugerencias de Wischmeier (9) y procesados en computadoras electrónica IBM 1130. Los registros fueron hechos por personal de la estación climatológica del IICA CATIE, en Turrialba, Costa Rica y pertenecen al período comprendido entre julio de 1958 y junio de 1974.

Turrialba está situada bajo la formación de bosque húmedo - sub-tropical de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (6).-

3.1. Probabilidad de día húmedo y seco.

Para el cálculo probabilístico se siguió la técnica empleada por Feyerherm y colaboradores (4) para el cálculo de probabilidad de lluvia semanal, pero se modificó en el sentido de que éste se hizo para probabilidades diarias. Para hacer - esta modificación se tuvo en cuenta que, en el trópico y - sub-trópico la diferencia en precipitación y crecimiento vegetal entre una y otra semana es apreciable.

Siendo que los suelos presentan diferencias en su capacidad de infiltración y retención de humedad así como en sus otras características, se consideró conveniente acoger, tres (3) criterios para considerar un día como seco:-

- a) Aquel en que no se presentó lluvia 0 mm.
- b) Aquel que cayeron 5 mm. o menos.
- c) Aquel en que cayeron 10 mm. o menos.

Para obtener la probabilidad diaria de día húmedo o seco con base en estos criterios, se dieron instrucciones a la computadora mediante un programa adecuado, para que generara una tabla con el valor de probabilidad de húmedo o seco para dii

ferentes condiciones y para cada día del año. La elaboración del programa estuvo fundamentada en las siguientes condiciones y consideraciones:-

- a) La probabilidad de día seco ($P(s)$), es igual al número de años en el que el día "t" fue seco, dividido entre el número de año de registro.
- b) La probabilidad de día seco, dado que el día anterior fue seco ($P(s/s)$) es igual al número de año en que el "t" y el "t-1" día fueron secos, dividido entre el número de años en que el día "t-1" fue seco.

/ = dado que el día anterior fue

"t" = 1, 2, 3 365 días.

De esta forma, las probabilidades se determinan asumiendo - que las secuencias de días húmedos y secos pueden representarse adecuadamente por la cadena probabilística de Markov(4). Dicho modelo asume que la probabilidad para un día dado depende solamente de la cantidad de precipitación del día anterior. Bajo este modelo se pueden generar las siguientes probabilidades que también se determinaron y se presentan - en las tablas:-

$$P(h) = 1 - P(s)$$

$$P(h/s) = 1 - P(s/s)$$

$$P (s/h) = P (s) \times P (h/s) \div P (h)$$

$$P (h/h) = 1 - P (s/h)$$

En donde:-

$P (h)$ = Probabilidad de día húmedo

$P(h/s)$ = Probabilidad de día seco dado que el día anterior fue húmedo.

$P(s/h)$ = Probabilidad de día húmedo dado que el día anterior fue seco.

$P(h/h)$ = Probabilidad de día húmedo dado que el día anterior fue húmedo.

3.2. Frecuencias de hora de inicio de las lluvias.

Para conocer entre que hora se presentan las mayores frecuencias de inicio de las lluvias, se programó a la computadora, para que contara el número de veces que entre una y otra hora hasta las 24, se iniciaban las lluvias. Para ello en tarjetas IBM se perforaron las horas de inicio y finalización de cada lluvia, junto con otros datos a utilizarse en otro trabajo.

Las frecuencias generadas por la computadora se obtuvieron para cada mes del período en estudio, luego se sumaron las

correspondientes al mismo para conseguir las frecuencias mensuales y por último, se obtuvo una frecuencia total horaria para los años de registro.-

4. RESULTADOS

4.1. Probabilidad de día húmedo o seco.

Como presentar todas las tablas generadas se hace difícil - debido a su extensión, se presentará a manera de ejemplo solo las correspondientes a los meses de marzo y septiembre - contrastantes en precipitación siendo marzo menos húmedo. - Con una probabilidad del 96% en marzo caen entre 150 y 200 mm. de lluvia mientras que en septiembre con probabilidad - del 94% caen entre 350 y 400 mm. (1).

Las tablas 1, 2 y 3 muestran las probabilidades diarias para los tres criterios de consideración de " día seco" 0 mm, 5 mm o menos y 10 mm. o menos. Cada tabla contempla para los días del mes correspondiente las siguientes probabilidades: $P(s)$, $P(s/s)$, $P(h/s)$, $P(s/h)$ y $P(h/h)$.

Una comparación entre estos meses deja ver que las probabilidades de que un día dado sea seco ($p(s)$) son mayores en el mes de marzo. Al contrario, las probabilidades de un día dado sea húmedo ($P(h)$) son mayores en septiembre. Las pro

babilidades de que ocurran dos (2) días consecutivos secos (P (s/s)) son mayores en marzo y de que ocurran húmedos - (P (h/h)) en septiembre. Las probabilidades de que un día dado sea seco siendo que el anterior fue húmedo (P(h/s)) son en general mayores en septiembre, mientras que las pro babilidades de que un dado sea húmedo siendo que el anterior fue seco son mayores en marzo.-

Cuando el criterio de día seco pasa de 0 mm a 5 mm y a 10 mm o menos la probabilidad para día seco aumenta para ambos meses, mientras que de día húmedo disminuye. Asi mismo, - las secuencias de dos días secos aumentan y disminuyen los dos días húmedos.

4.2. Frecuencia de inicio de las lluvias.

En el cuadro 1 se presentan las frecuencias encontradas para la distribución mensual de las lluvias. En el comportamiento mensual se observa que en los meses de noviembre, diciembre y enero se presenta mayor incidencia de inicio de las - lluvias en las horas de la noche en comparación con los otros meses.

La disminución de frecuencia se inició entre las 6 a 7 y las 11 a 12 horas es bastante generalizadas, lo mismo que un -- aumento a partir de las 12 a 13 que llega a hacerse máximo entre las 14 y las 19 horas, presentándose luego un descanso

Tabla 1. Probabilidad de que un día dado sea húmedo o seco, considerando como seco 0,0 mm de lluvia

| Día | Mes | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | Marzo | | | | Setiembre | | | | H/S | | | | H/H |
| | H | S/S | H/S | S/H | H/H | S | H | S/S | H/S | S/H | H/H | | |
| 1 | 0,625 | 9,375 | 0,318 | 0,181 | 0,303 | 0,696 | 0,312 | 0,687 | 0,500 | 0,500 | 0,227 | 0,772 | |
| 2 | 0,437 | 0,562 | 0,500 | 0,500 | 0,388 | 0,611 | 0,125 | 0,875 | 0,000 | 1,000 | 0,142 | 0,857 | |
| 3 | 0,625 | 0,375 | 0,571 | 0,428 | 0,714 | 0,285 | 0,312 | 0,687 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | |
| 4 | 0,687 | 0,312 | 0,800 | 0,200 | 0,440 | 0,560 | 0,312 | 0,687 | 0,600 | 0,400 | 0,191 | 0,818 | |
| 5 | 0,562 | 0,437 | 0,636 | 0,363 | 0,467 | 0,532 | 0,375 | 0,625 | 0,400 | 0,600 | 0,360 | 0,640 | |
| 6 | 0,562 | 0,437 | 0,666 | 0,333 | 0,428 | 0,572 | 0,312 | 0,687 | 0,500 | 0,500 | 0,227 | 0,772 | |
| 7 | 0,500 | 0,500 | 0,555 | 0,444 | 0,444 | 0,555 | 0,125 | 0,875 | 0,200 | 0,800 | 0,114 | 0,885 | |
| 8 | 0,250 | 0,750 | 0,375 | 0,625 | 0,208 | 0,791 | 0,250 | 0,750 | 0,500 | 0,500 | 0,166 | 0,833 | |
| 9 | 0,625 | 0,375 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,250 | 0,750 | 0,250 | 0,750 | 0,250 | 0,750 | |
| 10 | 0,562 | 0,437 | 0,600 | 0,400 | 0,514 | 0,485 | 0,125 | 0,875 | 0,000 | 1,000 | 0,142 | 0,857 | |
| 11 | 0,687 | 0,312 | 0,777 | 0,222 | 0,488 | 0,511 | 0,312 | 0,687 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | |
| 12 | 0,687 | 0,312 | 0,909 | 0,090 | 0,200 | 0,800 | 0,375 | 0,625 | 0,800 | 0,200 | 0,120 | 0,880 | |
| 13 | 0,500 | 0,500 | 0,727 | 0,272 | 0,272 | 0,727 | 0,375 | 0,625 | 0,500 | 0,500 | 0,300 | 0,700 | |
| 14 | 0,437 | 0,562 | 0,750 | 0,250 | 0,194 | 0,805 | 0,137 | 0,862 | 0,333 | 0,666 | 0,153 | 0,846 | |
| 15 | 0,375 | 0,625 | 0,714 | 0,285 | 0,171 | 0,828 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | |
| 16 | 0,562 | 0,437 | 0,666 | 0,333 | 0,428 | 0,571 | 0,197 | 0,802 | 0,000 | 1,000 | 0,230 | 0,769 | |
| 17 | 0,562 | 0,437 | 0,555 | 0,444 | 0,571 | 0,428 | 0,250 | 0,750 | 0,000 | 1,000 | 0,333 | 0,666 | |
| 18 | 0,500 | 0,500 | 0,666 | 0,333 | 0,333 | 0,666 | 0,312 | 0,687 | 0,500 | 0,500 | 0,227 | 0,772 | |
| 19 | 0,375 | 0,625 | 0,500 | 0,500 | 0,300 | 0,700 | 0,125 | 0,875 | 0,200 | 0,800 | 0,114 | 0,885 | |
| 20 | 0,625 | 0,375 | 0,833 | 0,166 | 0,277 | 0,722 | 0,250 | 0,750 | 0,000 | 1,000 | 0,333 | 0,666 | |
| 21 | 0,562 | 0,437 | 0,600 | 0,400 | 0,514 | 0,485 | 0,375 | 0,625 | 0,500 | 0,500 | 0,300 | 0,700 | |
| 22 | 0,500 | 0,500 | 0,777 | 0,222 | 0,222 | 0,777 | 0,250 | 0,750 | 0,000 | 1,000 | 0,333 | 0,666 | |
| 23 | 0,625 | 0,375 | 0,875 | 0,125 | 0,208 | 0,791 | 0,187 | 0,812 | 0,000 | 1,000 | 0,230 | 0,769 | |
| 24 | 0,625 | 0,375 | 0,800 | 0,200 | 0,333 | 0,666 | 0,062 | 0,937 | 0,333 | 0,666 | 0,044 | 0,955 | |
| 25 | 0,625 | 0,375 | 0,700 | 0,300 | 0,500 | 0,499 | 0,375 | 0,625 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | |
| 26 | 0,562 | 0,437 | 0,800 | 0,200 | 0,267 | 0,742 | 0,250 | 0,750 | 0,666 | 0,333 | 0,111 | 0,888 | |
| 27 | 0,437 | 0,562 | 0,666 | 0,333 | 0,253 | 0,740 | 0,312 | 0,687 | 0,000 | 1,000 | 0,454 | 0,545 | |
| 28 | 0,562 | 0,437 | 0,571 | 0,428 | 0,551 | 0,448 | 0,062 | 0,937 | 0,200 | 0,800 | 0,053 | 0,946 | |
| 29 | 0,562 | 0,437 | 0,777 | 0,222 | 0,285 | 0,714 | 0,250 | 0,750 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | |
| 30 | 0,625 | 0,375 | 0,777 | 0,222 | 0,370 | 0,629 | 0,062 | 0,937 | 0,250 | 0,750 | 0,050 | 0,950 | |
| 31 | 0,562 | 0,437 | 0,800 | 0,200 | 0,257 | 0,742 | - | - | - | - | - | - | |

Tabla 2. Probabilidad de que un día dado sea seco, considerando como seco 5 mm de lluvia o menos

| Día | Mes | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Marzo | | | | | | Setiembre | | | | | |
| | S | H | S/S | H/S | S/H | H/H | S | H | S/S | H/S | S/H | H/H |
| 1 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 0,375 | 0,300 | 0,200 | 0,333 | 0,666 |
| 2 | 0,750 | 0,250 | 0,600 | 0,200 | 0,600 | 0,399 | 0,437 | 0,562 | 0,600 | 0,400 | 0,400 | 0,600 |
| 3 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,714 | 0,285 | 0,857 | 0,142 |
| 4 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,687 | 0,312 | 0,750 | 0,250 | 0,550 | 0,450 |
| 5 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,687 | 0,312 | 0,636 | 0,363 | 0,300 | 0,200 |
| 6 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,562 | 0,437 | 0,818 | 0,181 | 0,233 | 0,766 |
| 7 | 0,937 | 0,062 | 0,937 | 0,062 | 0,937 | 0,062 | 0,657 | 0,312 | 0,666 | 0,333 | 0,733 | 0,266 |
| 8 | 0,812 | 0,187 | 0,666 | 0,133 | 0,577 | 0,422 | 0,625 | 0,375 | 0,636 | 0,363 | 0,600 | 0,393 |
| 9 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,076 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 0,375 | 0,700 | 0,300 | 0,500 | 0,499 |
| 10 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,437 | 0,562 | 0,700 | 0,300 | 0,233 | 0,766 |
| 11 | 0,375 | 0,125 | 0,866 | 0,133 | 0,933 | 0,066 | 0,750 | 0,250 | 0,714 | 0,235 | 0,357 | 0,142 |
| 12 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,562 | 0,437 | 0,583 | 0,416 | 0,535 | 0,464 |
| 13 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,750 | 0,250 | 0,888 | 0,111 | 0,333 | 0,666 |
| 14 | 0,875 | 0,125 | 0,857 | 0,142 | 1,000 | 0,000 | 0,500 | 0,500 | 0,583 | 0,416 | 0,416 | 0,583 |
| 15 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,312 | 0,687 | 0,250 | 0,750 | 0,340 | 0,659 |
| 16 | 0,875 | 0,125 | 0,866 | 0,133 | 0,933 | 0,066 | 0,625 | 0,375 | 0,600 | 0,400 | 0,600 | 0,333 |
| 17 | 0,875 | 0,125 | 0,857 | 0,142 | 1,000 | 0,000 | 0,375 | 0,125 | 0,900 | 0,100 | 0,700 | 0,299 |
| 18 | 0,812 | 0,187 | 0,857 | 0,142 | 0,619 | 0,380 | 0,375 | 0,625 | 0,357 | 0,542 | 0,385 | 0,614 |
| 19 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,562 | 0,437 | 0,606 | 0,333 | 0,428 | 0,571 |
| 20 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,437 | 0,562 | 0,555 | 0,444 | 0,345 | 0,654 |
| 21 | 0,687 | 0,312 | 0,687 | 0,312 | 0,687 | 0,312 | 0,500 | 0,500 | 0,571 | 0,428 | 0,428 | 0,571 |
| 22 | 0,875 | 0,125 | 0,909 | 0,090 | 0,636 | 0,363 | 0,437 | 0,562 | 0,375 | 0,625 | 0,486 | 0,513 |
| 23 | 0,750 | 0,250 | 0,857 | 0,142 | 0,428 | 0,571 | 0,625 | 0,375 | 0,428 | 0,571 | 0,952 | 0,047 |
| 24 | 0,812 | 0,187 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,500 | 0,500 | 0,600 | 0,400 | 0,400 | 0,600 |
| 25 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,625 | 0,375 | 0,625 | 0,375 | 0,625 | 0,375 |
| 26 | 0,812 | 0,187 | 0,866 | 0,133 | 0,577 | 0,422 | 0,552 | 0,437 | 0,700 | 0,300 | 0,385 | 0,614 |
| 27 | 0,875 | 0,125 | 0,846 | 0,153 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 0,375 | 0,666 | 0,333 | 0,555 | 0,444 |
| 28 | 0,875 | 0,125 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,437 | 0,562 | 0,300 | 0,700 | 0,544 | 0,455 |
| 29 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,562 | 0,437 | 0,571 | 0,428 | 0,555 | 0,444 |
| 30 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 0,375 | 0,555 | 0,444 | 0,740 | 0,259 |
| 31 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | - | - | - | - | - | - |

Tabla 3. Probabilidad de que un día dado sea seco, considerando como seco 10 mm de lluvia o menos

| Día | Mes | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Marzo | | | | | | Setiembre | | | | | |
| | S | H | S/S | H/S | S/H | H/H | S | H | S/S | H/S | S/H | H/H |
| 1 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,637 | 0,312 | 0,909 | 0,090 | 0,299 | 0,877 |
| 2 | 0,875 | 0,125 | 0,866 | 0,133 | 0,933 | 0,066 | 0,750 | 0,250 | 0,727 | 0,272 | 0,818 | 0,181 |
| 3 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,012 | 0,187 | 0,833 | 0,166 | 0,722 | 0,277 |
| 4 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,750 | 0,250 | 0,769 | 0,230 | 0,632 | 0,327 |
| 5 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,812 | 0,187 | 0,750 | 0,250 | 1,000 | 0,000 |
| 6 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,769 | 0,230 | 0,632 | 0,327 |
| 7 | 0,937 | 0,062 | 0,937 | 0,062 | 0,937 | 0,062 | 0,750 | 0,250 | 0,750 | 0,250 | 0,750 | 0,250 |
| 8 | 0,812 | 0,187 | 0,866 | 0,133 | 0,577 | 0,422 | 0,750 | 0,250 | 0,833 | 0,166 | 0,500 | 0,499 |
| 9 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,625 | 0,375 | 0,583 | 0,416 | 0,094 | 0,305 |
| 10 | 0,937 | 0,062 | 0,937 | 0,062 | 0,937 | 0,062 | 0,562 | 0,437 | 0,800 | 0,200 | 0,257 | 0,742 |
| 11 | 0,875 | 0,125 | 0,866 | 0,133 | 0,933 | 0,066 | 0,937 | 0,062 | 0,838 | 0,111 | 1,000 | 0,000 |
| 12 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,800 | 0,200 | 0,600 | 0,399 |
| 13 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,811 | 0,187 | 0,333 | 0,666 | 0,722 | 0,277 |
| 14 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,750 | 0,250 | 0,769 | 0,230 | 0,692 | 0,307 |
| 15 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,312 | 0,687 | 0,250 | 0,750 | 0,340 | 0,659 |
| 16 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 0,375 | 0,600 | 0,400 | 0,666 | 0,333 |
| 17 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 |
| 18 | 0,375 | 0,125 | 0,933 | 0,066 | 0,466 | 0,533 | 0,562 | 0,437 | 0,600 | 0,400 | 0,514 | 0,485 |
| 19 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,882 | 0,111 | 0,333 | 0,666 |
| 20 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,625 | 0,375 | 0,583 | 0,416 | 0,694 | 0,305 |
| 21 | 0,375 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,697 | 0,312 | 0,600 | 0,200 | 0,440 | 0,560 |
| 22 | 0,937 | 0,062 | 0,922 | 0,071 | 1,000 | 0,000 | 0,625 | 0,375 | 0,545 | 0,454 | 0,757 | 0,242 |
| 23 | 0,312 | 0,167 | 0,800 | 0,200 | 0,866 | 0,133 | 0,750 | 0,250 | 0,600 | 0,400 | 1,000 | 0,000 |
| 24 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,750 | 0,250 | 0,833 | 0,166 | 0,500 | 0,499 |
| 25 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,812 | 0,187 | 0,750 | 0,250 | 1,000 | 0,000 |
| 26 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,875 | 0,125 | 0,750 | 0,250 | 0,846 | 0,153 | 0,461 | 0,538 |
| 27 | 0,375 | 0,125 | 0,857 | 0,142 | 1,000 | 0,000 | 0,750 | 0,250 | 0,750 | 0,250 | 0,750 | 0,250 |
| 28 | 0,875 | 0,125 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,500 | 0,500 |
| 29 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,625 | 0,375 | 0,750 | 0,250 | 0,416 | 0,583 |
| 30 | 0,937 | 0,062 | 0,933 | 0,066 | 1,000 | 0,000 | 0,812 | 0,187 | 0,800 | 0,200 | 0,416 | 0,583 |
| 31 | 0,937 | 0,062 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | - | - | - | - | - | - |

que tiende a igualar la frecuencia de las horas de la ma
gada.

Los meses que presentan menores frecuencia de inicio en las 24 horas son febrero, marzo y abril los más secos.

En la figura 1 se presenta el comportamiento de la d
istribu
ción de frecuencia horaria de inicio de lluvia para los años de estudio. Las mayores frecuencia 776, 702, 754 y 678 o
curren entre las 14 y 19 horas. Mientras que las menores 252, 195, 227 y 251 ocurren entre las 7 a 8 y 10 a 11.-

5. DISCUSION

Resultados como los obtenidos en el presente trabajo utilizados con buen criterio al lado de estudios de caracterización de suelos son muy útiles para la toma de decisiones s
obre momento más oportuno para introducción de maquinaria al campo, para preparación de suelos, aplicación de plaguicidas, fertilizantes, herbicidas, mejores días para siembra y cosech
a, secando de productos al aire etc.

A partir de las tablas generadas se pueden obtener las probabilidades de secuencia de 3 ó más días secos o húmedos u otras combinaciones de éstos tales como un día húmedo, 2 - días húmedos o 3 días húmedos dentro de un período considerado.

Cuadro 1. Distribución de frecuencia mensual y anual de la hora de inicio de las lluvias

| Hora de inicio | Enc. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0 - 1 | 37 | 19 | 13 | 26 | 13 | 24 | 21 | 24 | 14 | 17 | 34 | 31 | 273 |
| 1 - 2 | 31 | 18 | 23 | 21 | 15 | 16 | 26 | 18 | 10 | 14 | 42 | 30 | 264 |
| 2 - 3 | 37 | 21 | 23 | 35 | 22 | 22 | 24 | 28 | 21 | 19 | 29 | 35 | 316 |
| 3 - 4 | 41 | 18 | 17 | 22 | 20 | 19 | 23 | 19 | 16 | 11 | 39 | 38 | 283 |
| 4 - 5 | 39 | 23 | 22 | 27 | 23 | 16 | 21 | 21 | 14 | 24 | 42 | 34 | 306 |
| 5 - 6 | 40 | 19 | 22 | 34 | 23 | 16 | 38 | 30 | 11 | 13 | 35 | 42 | 323 |
| 6 - 7 | 25 | 21 | 11 | 26 | 19 | 25 | 33 | 32 | 15 | 14 | 33 | 26 | 280 |
| 7 - 8 | 23 | 13 | 17 | 25 | 23 | 12 | 40 | 19 | 9 | 5 | 33 | 33 | 252 |
| 8 - 9 | 24 | 7 | 26 | 20 | 11 | 7 | 21 | 19 | 9 | 4 | 19 | 38 | 195 |
| 9 - 10 | 27 | 14 | 15 | 23 | 17 | 15 | 18 | 19 | 11 | 5 | 28 | 35 | 227 |
| 10 - 11 | 22 | 12 | 17 | 26 | 12 | 11 | 36 | 16 | 8 | 19 | 37 | 35 | 251 |
| 11 - 12 | 32 | 8 | 12 | 13 | 28 | 21 | 25 | 29 | 13 | 16 | 27 | 40 | 264 |
| 12 - 13 | 39 | 17 | 22 | 25 | 39 | 43 | 39 | 46 | 30 | 19 | 37 | 43 | 399 |
| 13 - 14 | 45 | 21 | 22 | 24 | 59 | 61 | 61 | 67 | 61 | 40 | 62 | 37 | 560 |
| 14 - 15 | 29 | 33 | 29 | 41 | 67 | 101 | 63 | 75 | 73 | 69 | 63 | 59 | 776 |
| 15 - 16 | 48 | 27 | 26 | 34 | 91 | 85 | 68 | 83 | 86 | 100 | 72 | 59 | 702 |
| 16 - 17 | 61 | 25 | 39 | 46 | 77 | 89 | 60 | 68 | 82 | 88 | 68 | 51 | 754 |
| 17 - 18 | 41 | 31 | 36 | 50 | 65 | 77 | 47 | 70 | 64 | 86 | 76 | 63 | 705 |
| 18 - 19 | 61 | 47 | 40 | 45 | 69 | 67 | 54 | 53 | 53 | 57 | 61 | 71 | 678 |
| 19 - 20 | 36 | 46 | 40 | 44 | 43 | 37 | 37 | 42 | 34 | 44 | 45 | 38 | 486 |
| 20 - 21 | 44 | 27 | 28 | 36 | 25 | 27 | 45 | 28 | 28 | 29 | 42 | 33 | 392 |
| 21 - 22 | 31 | 18 | 29 | 20 | 28 | 24 | 26 | 31 | 18 | 20 | 53 | 50 | 348 |
| 22 - 23 | 35 | 19 | 25 | 25 | 25 | 25 | 21 | 22 | 21 | 23 | 37 | 25 | 303 |
| 23 - 24 | 44 | 21 | 35 | 27 | 17 | 27 | 26 | 21 | 18 | 22 | 49 | 31 | 338 |

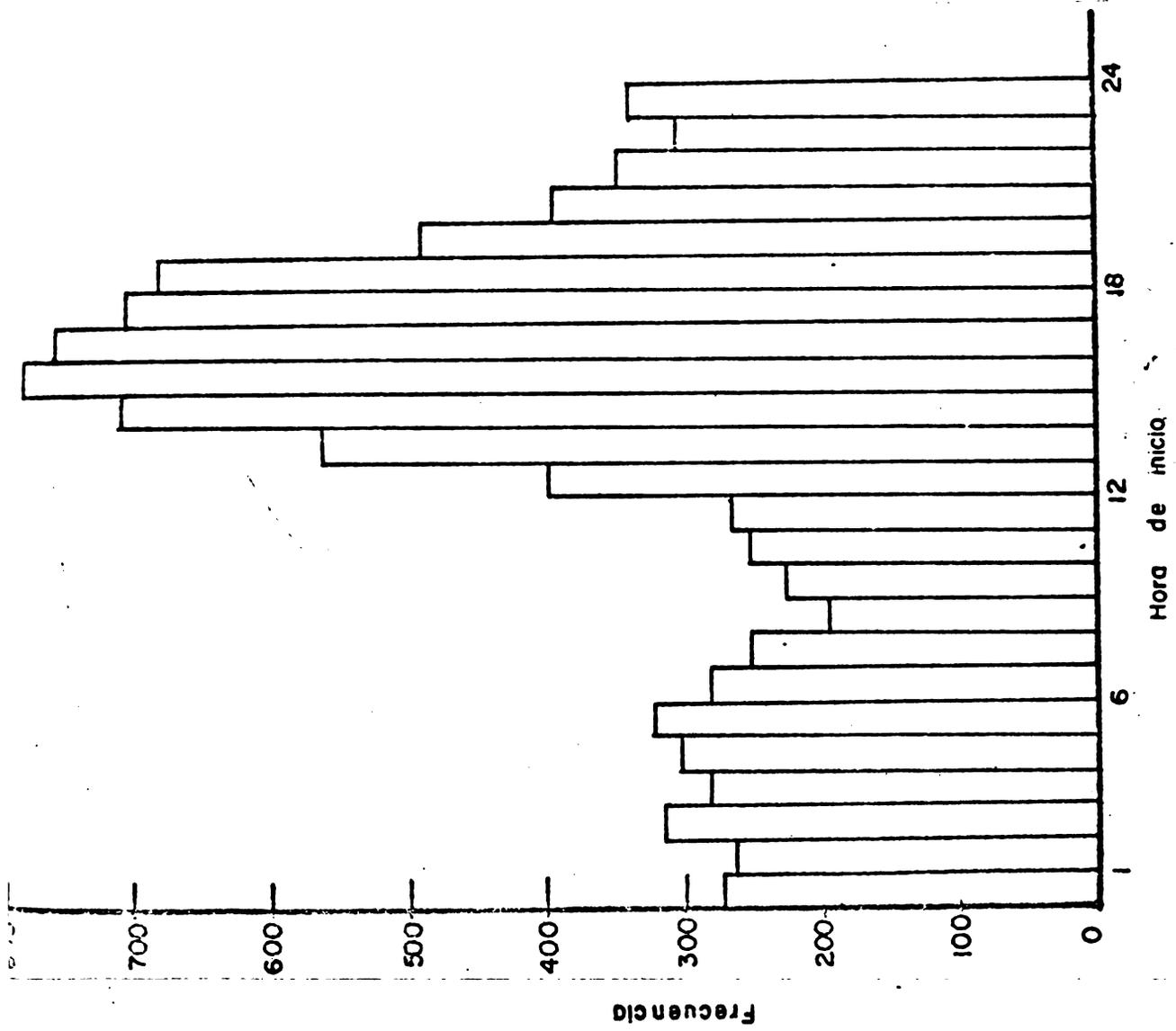


Gráfico 1. Distribución general de frecuencia de hora de inicio de las lluvias

Un ejemplo aplicado los días 13, 14 y 15 de marzo se presenta a continuación utilizando la tabla 1.

a) Probabilidad de que los tres días sean secos:

$$P(s,s) = P(s) \times P(s/s) \times P(s/s) = 0,437 \times 0,750 \times 0,714 = 0,234$$

b) Probabilidad de un día húmedo.

$$P(h,s,s) = P(h) \times P(s/h) \times P(s/s) = 0,562 \times 0,194 \times 0,714 = 0,078$$

$$P(s,h,s) = P(s) \times P(h/s) \times P(s/h) = 0,437 \times 0,250 \times 0,171 = 0,019$$

$$P(s,s,h) = P(s) \times P(s/s) \times P(h/s) = 0,437 \times 0,750 \times 0,285 = 0,093$$

c) Probabilidad de dos días húmedos.

$$P(h,h,s) = P(h) \times P(h/h) \times P(s/h) = 0,562 \times 0,805 \times 0,171 = 0,077$$

$$P(h,s,h) = P(h) \times P(s/h) \times P(h/s) = 0,562 \times 0,194 \times 0,285 = 0,031$$

$$P(s,h,h) = P(s) \times P(h/s) \times P(h/h) = 0,437 \times 0,250 \times 0,828 = 0,090$$

d) Probabilidad de tres días consecutivos húmedos.

$$P(h,h,h) = P(h) \times P(h/h) \times P(h/h) = 0,562 \times 0,805 \times 0,828 = 0,374$$

0,996

Si durante estos tres días se desea preparar un suelo para la siembra, se tendría como criterio para tomar esta decisión que con una probabilidad del 23,4% estos serán secos. Además, mediante el uso de la frecuencia de inicio de las lluvias se podría concluir que estas son menos frecuentes en el lapso comprendido entre las 6 a 7

y las 12 a 13. Por lo tanto, se tendría un rango de 6 horas dia rias para trabajar en el campo sin que posiblemente llueva, ya que durante este tiempo se estaría cumpliendo la probabilidad del 23,4% de seco.-

Cuando se han hecho caracterizaciones físicas de los suelos y se ha logrado establecer la cantidad de agua que debe caer para que un suelo alcance su límite de plasticidad o su punto de adhesión, se podrá considerar como secos, días en los cuales caigan lluvias equivalentes a la cantidad de agua necesaria para alcanzar éstas constantes de humedad. Así no se corre el riesgo de causar compactaciones por laboreo en exceso de humedad.

Durante el período de desarrollo del cultivo se pueden calcular las secuencias para varios días secos o húmedos, de acuerdo a las necesidades de realización de prácticas culturales o agronómicas que tenga el cultivo en cuestión. En la tabla 1 del apéndice se incluyen las combinaciones para determinar secuencias hasta de - 5 días.

6. RESUMEN

Se presentan los datos obtenidos en la determinación de las probabilidades diarias de tener:- día seco, día húmedo, día seco dado que el anterior fue húmedo, día húmedo dado que el anterior fue seco, dos días consecutivos húmedos y dos días consecutivos secos. Los resultados se presentan solo para dos meses contrastantes en precipitación marzo y septiembre.

Se presenta también un estudio de la distribución de frecuencia de la hora de inicio de las lluvias.

Mediante un ejemplo se trata de demostrar la utilidad del uso de éstos dos criterios para la toma de decisiones en agricultura.

Los estudios se hicieron con registros hechos durante 17 años por la estación climatológica del IICA-CATIE en Turrialba, Costa Rica.

Aunque el período en cuestión no es el ideal para estos estudios, se pretende mostrar como a partir del análisis de datos comunes en las estaciones climatológicas es posible planear las operaciones durante el desarrollo de un cultivo.

7. LITERATURA CITADA

1. AMEZQUITA, C.E. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de aguas y suelos en Turrialba, Costa Rica, IICA-CATIE. Tesis Mag. Soi. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1974. 212 p.
2. CONRAD, V. y POLLAK, L.W. Methods in climatology. 2 ed. Cambridge, Harvard University Press, 1950. 459 p.
3. CHOW, Ven TE. Statistical and probability analysis of hidrologic data. In, _____ ed. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1964, Section 8, pp. 1-97.
4. FEYERHERM, A.M., BARK, L.D. y BURROWS, W.C. Probabilities of secuencia of wet and dry days in Illinois. Kansas State University, Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin N° 139K. 1966. 55 p.
5. GRASSAU, S.E. Elementos de estadística. 2 ed. Santiago de Chile, Universitaria, 1963. 131 p.
6. HOLDRIDGE, L.R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1959. Escala 1: 1.000.000.
7. RAMIREZ, L.E. Desarrollo de un procedimiento para determinar variaciones espaciales y en tiempo de la precipitación en Venezuela. Caracas, Venezuela, Colegio de Ingenieros de Venezuela, 1971. 113 p. (IV Jornadas Venezolanas de Riego).

8. UNITED STATES. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Conservation Service. Irrigation Water requirements. Technical release N° 21. 1967. 83 p.
 9. WISCHMEIER, W.H. Punched cards record runoff and soil-loss data. Agricultural Engineering 36 (10): 664-666. 1955.
-

A P E N D I C E

Tabla 1. Tabla útil para determinar las secuencias posibles de días húmedos & secos para diferentes combinaciones hasta 5 días. Tomado de (4).

| No. de días húmedos | Posible Secuencia | No. de Secuencias | No. de días húmedos | Posible Secuencias | No. de Secuencias |
|---------------------|---|------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| n = 2 | | | n = 5 | | |
| 0 | S,S | 1 | 0 | S,S,S,S,S | 1 |
| 1 | H,S | 2 | 1 | H,S,S,S,S | 2 |
| | S,H | 3 | | S,H,S,S,S | 3 |
| 2 | H,H | 4 | 2 | S,S,H,S,S | 4 |
| | | | | S,S,S,H,S | 5 |
| S,S,S,S,H | 6 | | | | |
| 0 | S,S,S | 1 | | H,H,S,S,S | 7 |
| | | | | H,S,H,S,S | 8 |
| | | | | H,S,S,H,S | 9 |
| 1 | H,S,S, S,H,S | 2 | H,S,S,S,H | 10 | |
| | | | S,S,H | 4 | |
| 2 | H,H,S H,S,H S,H,H | 5 6 7 | S,H,H,S,S | 11 | |
| | | | S,H,S,H,S | 12 | |
| | | | S,H,S,S,H | 13 | |
| 3 | H,H,H | 8 | S,S,H,H,S | 14 | |
| | | | S,S,H,S,H | 15 | |
| | | | S,S,S,H,H | 16 | |
| n = 4 | | | 3 | H,H,H,S,S | 17 |
| 0 | S,S,S,S | 1 | | H,H,S,H,S | 18 |
| 1 | H,S,S,S, S,H,S,S, S,S,H,S S,S,S,H | 2 3 4 5 | | H,H,H,S,S | 19 |
| | | | | H,S,H,S,H | 20 |
| | | | | H,S,H,S,H | 21 |
| | | | | H,S,S,H,H | 22 |
| 2 | H,H,S,S, H,S,H,S H,S,S,H S,H,H,S S,H,S,H S,S,H,H | 6 7 8 9 10 11 | | S,H,H,H,S | 23 |
| | | | | S,H,H,S,H | 24 |
| | | | | S,H,S,H,H | 25 |
| | | | | S,S,H,H,H | 26 |
| | | | | H,H,H,S | 27 |
| 3 | H,H,H,S H,H,S,H H,S,H,H S,H,H,H | 12 13 14 15 | H,H,H,S,H | 28 | |
| | | | H,H,S,H,H | 29 | |
| | | | H,S,H,H,H | 30 | |
| | | | S,H,H,H,H | 31 | |
| 4 | H,H,H,H | 16 | 5 | H,H,H,H,H | 32 |